

Tartu Ülikool  
Loodus- ja täppisteaduste valdkond  
Ökoloogia ja maateaduste instituut  
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö keskkonnatehnoloogias (12 EAP)

**LÄMMASTIKINHIBIITORITE MÕJU LÄMMASTIKU LENDUMISELE JA  
LEOSTUMISELE PÕLLUMAJANDUSMAAL**

Hanna Vahter

Kaitsmisele lubatud:

Juhendajad:

Osakonna juhataja:

Juhendajad: PhD Kuno Kasak

PhD Kaido Soosaar

Tartu 2017

## **Lämmastikinhibiitorite mõju lämmastiku lendumisele ja leostumisele põllumajandusmaal**

Rahvaarvu suurenemine ja seeläbi suurenenud toiduvajadus on märkimisväärselt tõstnud lämmastik- ja fosforväetiste kasutamist põllumajandusmaal ja intensiivistanud toitainete lendumist ja leostumist. Lämmastiku- ja fosfori ärakanne põllumaalt põhjustab põllumajanduslikku hajureostust ja  $N_2O$  lendumist. Negatiivsete keskkonnamõjude vähendamiseks on kasutusele võetud lämmastikinhibiitorid, et muuta lämmastiku kasutamine tõhusamaks. Eestis esmakordsel lämmastikinhibiitori (Vizura) mõju uurivas katses selgitati, selle toimet lämmastiku leostumisel ja  $N_2O$  lendumisele vedelsõnnikuga väetatud põllumajandusmaal. Uuring viidi läbi Kehtnas talirapsipõllul, mis jagati kontroll- ja katsepõlluosaks, kus esimesele laotati ainult vedelsõnnik, teisele vedelsõnnik koos Vizuraga. Kuna Vizura kasutamisele järgnes võrdlemisi intensiivne vihmaperiood, siis töö tulemuste põhjal saab öelda, et statistiliselt oluline mõju lämmastikinhibiitoril lämmastiku lendumisele ja leostumisele põllumajandusmaal sademete rohkel perioodil kasutades puudus. Küll aga olid keskmised  $NO_3^-$ -N kontsentratsioonid kontrollpõllu mullas ja mulla drenaaživees kõrgemad kui katsepõllul. Statistiline olulisus leiti ka mulla fosfori sisalduse ja  $N_2O$ -N lendumise vahel, kus kõrgema fosfori sisalduse juures olid suuremad ka  $N_2O$ -N vood.

**Märksõnad:** *dilämmastikoksiid, nitraat, leostumine, kasvuhoonegaasid, lämmastikinhibiitorid, põllumajanduslik hajureostus*

**CERCS:** T270 Keskkonnatehnoloogia, reostuskontroll

## **Effect of Nitrogen Inhibitors to Nitrogen Fluxes and Leaching in Agricultural Land**

Population growth and thereby the increased need for food has significantly raised the use of nitrogen and phosphorous fertilizers in agricultural land; thus, intensifying nutrient leaching and volatilization. Nutrient runoff from agricultural land causes agricultural diffuse pollution and  $N_2O$  fluxes. To reduce those negative impacts for environment, nitrogen inhibitors have been introduced to make nitrogen use more efficient. The study for nitrogen inhibitor's (Vizura) effect on  $N_2O$  fluxes,  $NO_3^-$  and  $NH_4^+$  leaching was carried out in Estonia for the first time. The study was carried out on the winter oilseed rape field in Kehtna, and was divided

into control (only slurry) and experimental site (slurry + Vizura). Vizura application to soil was followed relatively intense rainfall, therefore we can say, that Vizura had statistically no significant effect on nitrogen fluxes and leaching in a rainy period. However, the mean  $\text{NO}_3^-$ -N concentrations in control site soil and drainage water were higher than in the experimental field. Statistical significance was also found in soil between phosphorus and  $\text{N}_2\text{O}$ -N fluxes; with higher phosphorus concentrations, there were higher  $\text{N}_2\text{O}$ -N fluxes. For a better Vizura effect assessment, a new study should be conducted in Estonia.

**Keywords:** *nitrogen oxide, nitrate, leaching, greenhouse gases, nitrogen inhibitors, agricultural diffuse pollution*

**CERCS:** T270 Environmental technology, pollution control

# Sisukord

<b>Lühendid .....</b>	<b>5</b>
<b>Sissejuhatus .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Teoreetiline ülevaade .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. Põllumajanduslik hajureostus .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. Kasvuhoonegaaside vood põllumajandusest .....</b>	<b>9</b>
1.2.1. Nitrifikatsioon ja denitrifikatsioon .....	11
1.2.2. Lämmastikinhibiitorid .....	13
1.2.3. Vizura mõju põllumajandusliku hajureostuse ja N <sub>2</sub> O emissiooni vähendamiseks .....	14
<b>2. Materjal ja metoodika .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Põllumaa kirjeldus .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Andmete kogumine ja analüüsimine .....</b>	<b>17</b>
2.2.1. Gaasivood .....	18
2.2.2. Vedelsõnniku, vee- ja mullaparametrid .....	18
2.2.3. Meteoroloogilised parameetrid .....	19
2.2.4. Statistiline analüüs .....	19
<b>3. Tulemused ja arutelu .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. Meteoroloogilised parameetrid .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2. Lämmastik mullas ja selle leostumine .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3. Lämmastiku lendumine .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4. Fosfori leostumine .....</b>	<b>28</b>
<b>4. Järeldused .....</b>	<b>32</b>
<b>Kokkuvõte .....</b>	<b>34</b>
<b>Effect of Nitrogen Inhibitors to Nitrogen Fluxes and Leaching in Agricultural Land ...</b>	<b>36</b>
<b>Tänuavaldused .....</b>	<b>38</b>
<b>Kasutatud kirjandus .....</b>	<b>39</b>
<b>Lisa Fotod välitöödelt .....</b>	<b>44</b>

## Lühendid

<b>KHG</b>	kasvuhoonegaasid
<b>N<sub>2</sub>O</b>	dilämmastikoksiid
<b>CH<sub>4</sub></b>	metaan
<b>CO<sub>2</sub></b>	süsinikdioksiid
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	nitrit
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	nitraat
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N</b>	nitraatlämmastik
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	ammoonium
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N</b>	ammooniumlämmastik
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	fosfaat
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P</b>	fosfaatfosfor
<b>ÜPP</b>	Euroopa Ühine Põllumajanduspoliitika
<b>ekv</b>	ekvivalent
<b>BAU</b>	ingl k. <i>business as usual</i> , baasstesenarium
<b>LULUCF</b>	ingl k. <i>land-use change and forestry</i> , maakasutuse muutus ja metsandus
<b>GWP</b>	ingl k. <i>Global Warming Potential</i> , globaalse soojenemise potentsiaal
<b>ppb</b>	ingl k. <i>parts per billion</i> , osakest miljardis
<b>kt</b>	kilotonni

## Sissejuhatus

Rahvaarv oli 1900. aastal 1,5 miljardit (Roser, Ortiz-Ospina 2017), käesolevaks aastaks on see tõusnud juba 7,5 miljardini (Worldometer 2017), selline hüppeline kasv toob kaasa suurenenud toiduvajaduse, mis omakorda suurendab põllumajandussektori osakaalu ja negatiivset mõju keskkonnale (Lu, Tian 2017). Toitainete vood põllumajandusmaalt on märkimisväärselt suurenenud alates 20. sajandi lõpust, mil põllumajandus intensiivistus, seeläbi on kasvanud ka väetiste (eriti lämmastik- ja fosforväetiste) ning taimekaitsevahendite kasutamine (Lotman, Kasak 2017). Aastal 2015 oli ülemaailmne lämmastikväetiste nõudlus ligi 115 miljonit tonni ning fosfaatväetistel ligi 40 miljonit tonni (FAO 2015). Optimaalsest tasemest madalam ja üleväetamine on viinud suurenenud lämmastiku kadudeni mullast läbi dilämmastikoksiidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) lendumise ning nitraadi ( $\text{NO}_3^-$ ) leostumise, mis toob endaga kaasa tõsiseid keskkonnavalaseid ja ökoloogilisi probleeme mullas, vees ja õhus (Yang et al. 2016, Liu et al. 2015). Lisaks lämmastikule on olulised ka fosforikaod põllumaadelt. Kui lämmastik kaob nii pindmise äravoolu kui ka leostumise tagajärjel, siis fosfor liigub põllumaalt minema peamiselt osakestele seotuna (Pärn et al. 2012). Väetiste kasutamisel on oluline jälgida ilmaolusid, mullaviljakust ning kasutada parimat võimalikku tehnoloogiat. Oluline on väetamisel vähendada väetiste kadu ja suurendada nende efektiivsust (Euroopa Komisjon 2016, AgroNews 2016).

Põllumajanduslikku hajureostust põhjustavad põllult veekogudesse leostunud  $\text{NO}_3^-$ , vähemal määral ammoonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ning fosfor (P) ja fosfaat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (Kasak et al. 2016). Lämmastiku ja fosfori liigne kontsentratsioon veekogudes põhjustab eutrofeerumist ehk ületoitumist, mis läbi suureneb veetaimede kasv, väheneb hapniku kontsentratsioon ning lõpuks võib viia veekogu kinnikasvamiseni. Lisaks sellele, et põllult ära kantavad taimetoitained mõjutavad negatiivselt veekogusid, on neil oluline mõju ka kasvuhoonegaaside (KHG) lendumisele. Põllumajandusest pärinevad olulisemad KHG-d on metaan ( $\text{CH}_4$ ) ja dilämmastikoksiid ( $\text{N}_2\text{O}$ ). (Lotman, Kasak 2017) Suurenenud toitainete voogude vähendamiseks põllumajandusmaalt on ühe võimalusena kasutusele võetud lämmastikinhibiitorid, mis vähendavad orgaaniliste väetise kasutamisel lämmastikuühendite lendumist ja leostumist ning seeläbi ka lisaväetiste kasutamise mahtu (Yang et al. 2016, Misselbrook et al. 2014).

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on: 1) mõõta diämmastikoksiidi ( $\text{N}_2\text{O-N}$ ) voogusid põllumajandus maastikult; 2) analüüsida  $\text{N}_2\text{O-N}$  lendumise seoseid keskkonnaparameetritega; 3) analüüsida lämmastikinhibiitori (Vizura) mõju toitainete leostumisele ja  $\text{N}_2\text{O-N}$  lendumisele vedelsõnnikuga väetatud põllumajandusmaal. Töös võrreldakse Kehtnas asuvat põldu, mis on jagatud kontroll- ja katsepõlluosaks. Nii kontroll- kui ka katsepõllult mõõdetakse  $\text{N}_2\text{O-N}$  voogusid, nitraatlämmastiku ( $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ) ja ammooniumlämmastiku ( $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ) kontsentratsiooni mullas ja mulla drenaaživees. Kuna toitainete omastamine mullast on omavahel seotud, siis uuritakse lisaks fosfori ja fosfaatfosfori ( $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ ) sisaldust mullas ja mullavees.

Töö tulemused võimaldavad anda esialgse hinnangu: 1) vedelsõnniku laotamise mõjust  $\text{N}_2\text{O-N}$  voogudele; 2)  $\text{N}_2\text{O-N}$  lendumise seostele keskkonnaparameetritega; 3) lämmastikinhibiitori (Vizura) mõju leostumisele ja  $\text{N}_2\text{O-N}$  lendumisele põllumajandusmaal, mida Eestis ei ole varem uuritud.

# 1. Teoreetiline ülevaade

Maailma rahvastiku kiirenevas tempos kasv põhjustab aina suurenevat vajadust toidu järgi (Lu, Tian 2017), selle negatiivseks mõjuks on aga alates eelmise sajandi lõpust märkimisväärselt intensiivistunud toitainete voog põllumajandusmaalt (Lotman, Kasak 2017). See on toonud kaasa väetiste ja taimekaitsevahendite suurema kasutamise, mis põhjustavad põllumajanduslikku hajureostust ja KHG-de lendumist (Liu et al. 2015).

## 1.1. Põllumajanduslik hajureostus

Väetiste ja taimekaitsevahendite hajus äraanne põllumajanduslikult maalt on peamine põllumajandusliku hajureostuse põhjus. Põllumajanduslikust hajureostusallikast pärinevat toitainete liikumist keskkonnas on raskem kontrollida, jälgida ja vähendada kui punktoreostusallika puhul, mistõttu on hajukoormus palju ohtlikum (Anderson et al. 2002). Väetiste kasutamine põllumajanduses on praktiliselt vältimatu, kuna saagi koristamisega viiakse toitained mullast välja ning hiljem on vaja mullaviljakuse taastamiseks nende tasakaal saavutada (Rooma et al. 2007). Siin tuleks aga arvestada, et saagi ja väetamise seos on mittelineaarne, teatud koguse väetise lisamisel saavutatakse toitainete maksimum ning taimekasv peatub (Lotman, Kasak 2017). Kõige rohkem mõjutavad keskkonda lämmastik- ja fosforväetised (Anderson et al. 2002), mis kantakse põllult ära nende liigse või valel ajal kasutamise tõttu. Põllule viidav lämmastik satub ümbritsevasse veekogudesse eelkõige peamiselt läbi mullas väga liikuva  $\text{NO}_3^-$  ja mullaosakestega rohkem seotud  $\text{NH}_4^+$  leostumise. Nii  $\text{NO}_3^-$  kui ka  $\text{NH}_4^+$  pärinevad mineraalsetest väetistest, taimede ja muu orgaanilise aine nitrifikatsioonist ning eelkõige sõnnikust (AS Maves, Keskkonnaministeerium 2006). Fosfor on mullaosakestega küll rohkem seotud, kuid erosiooni tõttu jõuab ka see vette, eriti suur on äraanne künklikel aladel (Pärn et al. 2012). Leostumine ja äraanne on sõltuv mulla lõimisest, väetamise režiimist ja kasvavatest kultuuridest ja vee hulgast. Toitainete äraanne on suurim peale saagi koristamist ning saavutab maksimumi tavaliselt sügistalvisel perioodil, kui mulda läbib suur hulk vett (Kasak et al. 2016).

Toitained kantakse põllumajanduslikult maalt otse jõgedesse ja kraavidesse eelkõige vihma ja lumesula veega, mis põhjustab veekogude eutrofeerumist ehk ületoitumist (Rooma et al. 2007, Lu, Tian 2017). Eutrofeerumise tõttu suureneb veetaimede kasv, väheneb liigirikkus, väheneb



hapniku kontsentratsioon ning lõpuks võib viia veekogu kinnikasvamiseni (Kasak et al. 2016). Toitainete ärakande määr sõltub eelkõige toitainetebilansist ehk sisendi ja väljundi vahest, mida mõjutab väetiste ebaratsionaalne kasutamine (Lotman, Kasak 2017). Euroopa Ühine Põllumajanduspoliitika (ÜPP) on oluline Euroopa Liidu liikmesriikide põllumajanduspoliitika mõjutaja nii rahaliselt kui ka ruumiliselt. Lotman, Kasak 2017 leidsid, et mida suurem on ÜPP poolt makstav otsetoetus, seda suurem on olnud taimetoitainete ülejääk hektari kohta. Eesti riigile makstav otsetoetuste suurus on võrreldes teiste Euroopa riikidega madal, kuid peale 2020. toimuvat reformi see eeldatavasti tõuseb ning avaldab seeläbi olulist mõju veekogudele ja nende hea seisundi saavutamisele (Lotman, Kasak 2017).

Väetiste kasutamine põllumajandusmaal on reguleeritud, et toimuks optimeeritud ja keskkonnahoidlik väetamine. Kaitsmaks veekeskkonda, on loodud kaitse- ja piiranguvööndid, kus väetiste ja sõnniku laotamine on keelatud, samuti on reguleeritud aeg, mil sõnniku laotamine põllule on lubatud (AS Maves, Keskkonnaministeerium 2006). Nii orgaaniliste kui ka mineraalväetiste laotamine on Eestis keelatud ajal, mil ilmaoludest ja mullastiku seisundist on oht suurenenud ärakandele (Kasak et al. 2016), ehk perioodil 1. detsembrist 10. märtsini. Vältides väetiste laotamist lumega kaetud, külmunud, veega küllastunud või üleujutatud põllumaale, hoitakse toitainete sattumist vette ning vähendatakse põllumajanduslikku hajureostust (Rooma et al. 2007, Kasak et al. 2016). Põllumeestel on seetõttu kohustus pidada põlluraamatut ja panna sinna kirja kõik kasutatud väetiste kogused. Kindlasti ei tohiks läga laotada põldudele peale saagi koristust, siis on toitainete liikumine vee ja mullaosakestega suur, sest pole taimi, kes väetisi omastaks. Lisaks standardsetele meetmetele vähendamaks toitainete kadusid on näitaks lämmastikväetiste kasutamisel võimalik rakendada lämmastikinhibiitoreid, mis stabiliseerivad lämmastiku mullas (Misselbrook et al. 2014).

## **1.2. Kasvuhoonegaaside vood põllumajandusest**

Üha suurenev rahvaarv loob vajaduse toiduainete tootmist tõsta ning põhjustab seeläbi põllumajandustoodangu mahu suurenemise ja sellega koos ka KHG-de heitkoguste tõusu (Keskkonnaministeerium 2016). Põllumajandusest pärinevad olulisemad KHG-d on CH<sub>4</sub> ja N<sub>2</sub>O (Misselbrook et al. 2014, Lotman, Kasak 2017), kus esimene moodustab 40% ja teine 60% kogu sektori heitest (IPCC 2013). Need gaasid põhjustavad kasvuhooneefekti, kuna on võimelised absorbeerima väikesel määral Päikeselt tulevat lühilainelist kiirgust ja oluliselt suuremal määral Maalt tagasi peegelduvat pikalainelist soojuskiirgust ning tõstavad seeläbi atmosfääri keskmist temperatuuri (Keskkonnaministeerium 2016, IPCC 2013). Antud töös

käsitletakse põhjalikumalt ainult N<sub>2</sub>O-d, kuna üheks eesmärgiks on uurida lämmastikinhibiitori mõju selle lendumisele.

KHG-de voogusid põllumajandussektorist Eestis hinnatakse nelja alamsektori alusel: põllumajandusloomade poolt vahetult toidu seedimiselt emiteeritud CH<sub>4</sub>, sõnnikukäitlemisest tulenev CH<sub>4</sub> ja N<sub>2</sub>O emissioon, põllumajanduslikelt muldadelt emiteeritud otsene ja kaudne N<sub>2</sub>O ning kulu põletamisest tekkiv CH<sub>4</sub> ja N<sub>2</sub>O. Otsene N<sub>2</sub>O emissioon pärineb põllumajandusmaalt, millel kasutatakse sünteetilisi lämmastikväetisi, loomasõnnikut (Sangeetha et al. 2009), komposti ja reoveesetteid, samuti põllule jäävatest taimejäänustest, turvasmuldade kultiveerimisest ning kariloomade uriini ja väljaheidete ladestumisest. Kaudse N<sub>2</sub>O heitkoguste hulka arvestatakse täiendavalt uuritud N<sub>2</sub>O emissioonid, mis tekivad loomasõnnikust karjamaadel, sekundaarsed kaod lämmastikuühendite depositsioonist atmosfääris ja leostumisest märgaladelt (Keskkonnaministeerium 2016).

Euroopa Liidus oli 2010. aastal põllumajandussektori kanda 9,8% KHG-de koguemissioonist (CH<sub>4</sub> 4,4% ja N<sub>2</sub>O 5,4%) (Chiper 2015), põhiline osa summaarsest süsihappegaasi (CO<sub>2</sub>) ekvivalendi (ekv) hinnatavast voost moodustas põllumajanduslikelt muldadelt ja väetamisest pärinev N<sub>2</sub>O (otsene N<sub>2</sub>O põllumaadelt 2,6% ja kaudne N<sub>2</sub>O põllumaadelt 1,7%) (Espenberg et al. 2013, Nevison 2000). Ka siin on N<sub>2</sub>O voole oluline roll ÜPP poolt makstavate otsetoetuste suurusel, kus suurema toetusega riikides on ka suuremad N<sub>2</sub>O vood (Lotman, Kasak 2017). Aastal 2014 moodustas Eestis põllumajandussektor riigi KHG-de koguemissioonist (ilma LULUCF mõjuta (*land-use change and forestry*, maakasutuse muutus ja metsandus) 6,3%, mis oli ~1300 kt CO<sub>2</sub> ekv-d (Espenberg et al. 2013, Kaar et al. 2016). KHG-de prognoositav tõus kogu põllumajandus valdkonnas BAU (*business as usual*, baasstesenaarium) stsenaariumit rakendades on aastaks 1720 kt (kilotonni) CO<sub>2</sub> ekv-d ning heitkoguste kasvu ohjamise stsenaariumit kasutades 1600 kt CO<sub>2</sub> ekv-d (Keskkonnaministeerium 2016).

N<sub>2</sub>O on värvitu ja lõhnatu mittesüttiv gaas, mis püsib atmosfääris keskmiselt 114 aastat (Sangeetha et al. 2009, Portmann et al. 2012). See on oluline kasvuhuoneefekti põhjustav KHG. N<sub>2</sub>O kontsentratsioonid atmosfääris on oluliselt väiksemad kui CO<sub>2</sub>-l, kuid selle globaalse soojenemise potentsiaal (*Global Warming Potential – GWP*) saja aasta skaalal on 300 korda suurem kui CO<sub>2</sub>-l (Sangeetha et al. 2009, IPCC 2013). GWP näitab mitu korda on teatud KHG üks molekul soojuse tagasipeegeldamise võimelt efektiivsem kui CO<sub>2</sub> molekul, seda arvutatakse tavaliselt üle kindla ajavahemiku – 20, 100 või 500 aastat. Seejuures tuleb kasutusele ka mõiste CO<sub>2</sub> ekv – 1 tonn CO<sub>2</sub> või muud KHG-d, mis on ümber arvutatud

CO<sub>2</sub> koguseks, kasutades globaalse soojenemise potentsiaali (Keskkonnaministeerium 2016). N<sub>2</sub>O kontsentratsioon atmosfääris 2016. aasta aprilli seisuga oli 328 ppb-d (*parts per billion*) (Blasing 2016), see kasvab igal aastal 0,2-0,3% (Nevison 2000, Takaya et al. 2003, Buchkina et al. 2013). Inimtekkelisest kasvuhooneefektist moodustab käesoleval sajandil N<sub>2</sub>O 5% (Sangeetha et al. 2009). N<sub>2</sub>O põhjustab ka stratosfääri osoonikihi hävimist (Takaya et al. 2003, Cameron et al. 2013), kui N<sub>2</sub>O kontsentratsioon atmosfääris kahekordistuks, siis hinnangute järgi kahaneb osoonikiht 10% ja UV-kiirguse Maale jõudmine suureneb kuni 20% (Sangeetha et al. 2009).

N<sub>2</sub>O voogusid mõjutavad kõige rohkem põllumajandussektoris lämmastik- ja sõnnikväetiste kasutamine (Lotman, Kasak 2017), kus lendumine sõltub orgaanilise süsiniku ja mineraalse lämmastiku sisaldusest, mulla tüübist, niiskusest, pH-st, temperatuurist, aastaajast, taimkattest ning väetamise tehnikast ja režiimist (Severin et al. 2016). Põllumajanduslikust perspektiivist näitab N<sub>2</sub>O lendumine ja NO<sub>3</sub><sup>-</sup> leostumine taimedele kasuliku lämmastiku kadu mullast ehk mullaviljakuse langust (Cameron et al. 2013) ning selle tarbimise tõhusust. Lendunud ja leostunud lämmastik on põllumajandussektorile kasutu (Sangeetha et al. 2009). N<sub>2</sub>O tekib lämmastiku muundumisest mikroobsete protsessid tagajärjel, nitrifikatsiooni ja eelkõige denitrifikatsiooni tõttu (Sangeetha et al. 2009, Buchkina et al. 2013, Misselbrook et al. 2014).

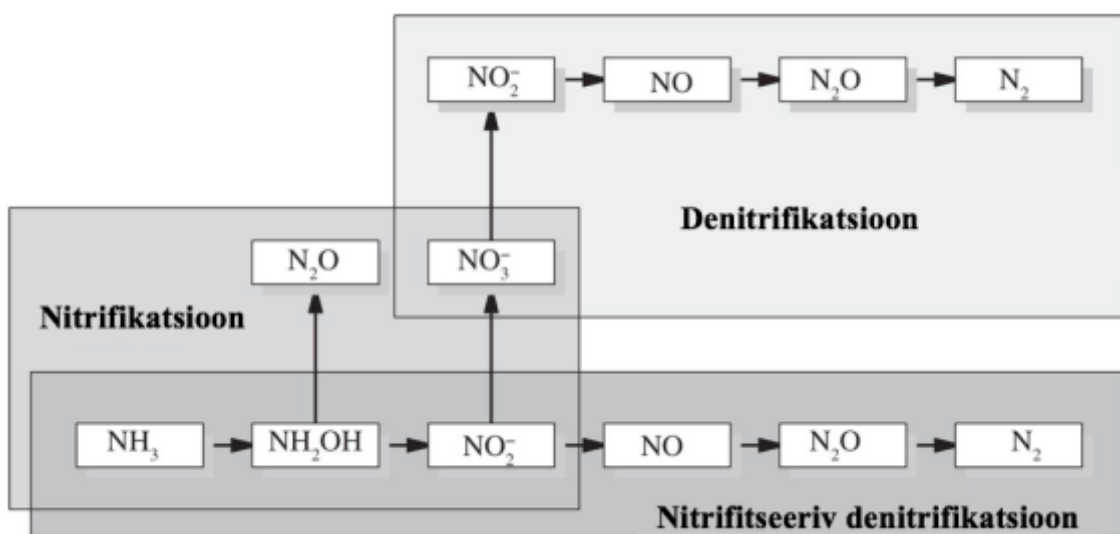
### **1.2.1. Nitrifikatsioon ja denitrifikatsioon**

Vedelsõnniku laotamisega põllule kaasneb kõigepealt ammonifikatsiooniprotsess, mille käigus lagundatakse selles sisalduv orgaaniline aine taimede poolt kergesti omastatavaks NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-ks, mis on mullas väga ebapüsiv ning selle edasise reageerimise käigus osa seotakse mullaga ning ülejäänud oksüdeeritakse nitrifikatsiooni protsessis. Protsess toimub mullas aeroobses keskkonnas (Nevison 2000) ning nitrifikatsiooni läbiviijateks on nii auto- kui ka heterotroofsed bakterid (IPNI 2014). Nitrifikatsioon jaguneb kaheks etapiks, kus kõigepealt muundatakse NH<sub>4</sub><sup>+</sup> oksüdeerivate bakterite, tuntumad on *Nitrosomonas* ja *Nitrospira* bakterid, ainevahetusprotsessi käigus nitritiks (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Seejärel *Nitrobacter* bakteri abil muundatakse NO<sub>2</sub><sup>-</sup> omakorda NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-ks (Misselbrook et al. 2014, Cameron et al. 2013), millest suur enamik kergesti leostub ja selle tulemusena väheneb mullas sisalduva kasuliku lämmastiku osakaal (Joonis 1) (Sangeetha et al. 2009).

Nitrifikatsiooni puhul moodustub N<sub>2</sub>O kõrvalsaadusena ammoniaagi (NH<sub>3</sub>) oksüdeerimisel hüdroksüülamiiniks (NH<sub>2</sub>OH) ja selle oksüdeerimisel NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-ks (Joonis 1). Nitrifikatsioon on

peamine protsess mullas, mille käigus  $\text{N}_2\text{O}$  moodustub, kui veega täidetud pooride ruum on 35-60% (Buchkina et al. 2013).  $\text{N}_2\text{O}$  moodustumine toimub ka nitrifitseerijate bakterite denitrifikatsioonil. Kõigepealt nitrifikatsiooni protsessi käigus  $\text{NH}_3$  muundatakse  $\text{NO}_2^-$ -ks ning seejärel on väike grupp autotroofseid nitrifitseerivaid baktereid võimelised  $\text{NO}_2^-$  muundama  $\text{N}_2\text{O}$ -ks (Joonis 1) (IPNI 2014, Pilegaard 2013).

Denitrifikatsioon toimub mullas anoksilises keskkonnas, kus peamiselt fakultatiivsete anaeroobsete denitrifitseerivate bakterite (näiteks *Alcaligenes faelcanis* ja *Chromobacterium violaceum* bakteriperekonnad (Knowles 1982)) elutegevuse käigus muundatakse  $\text{NO}_3^-$  läbi mitme vaheetapi molekularseks lämmastikuks (Joonis 1) (Takaya et al. 2003, Sangeetha et al. 2009). Denitrifikatsiooni toimumiseks on vaja  $\text{NO}_3^-$  ja lahustunud süsiniku olemasolu (IPNI 2014). Protsessi vaheühenditeks on kasvuhoonegaasid ( $\text{NO}$  ja  $\text{N}_2\text{O}$ ), mistõttu täielik denitrifikatsioon on keskkonna seisukohast väga oluline. Kui hapniku kontsentratsioon on liiga madal, siis protsessi käigus käituvad lämmastikoksiidid kui elektronaktseptorid (Knowles 1982, Ligi 2015). Mida suurem on hapniku puudujääk, seda rohkem muundavad bakterid  $\text{NO}_3^-$  molekularseks lämmastikuks.  $\text{N}_2\text{O}$  tekib denitrifikatsiooni käigus kui muld on niiske ja veega täidetud pooride hulk ületab 60%. Mullavesi võib otseselt või kaudselt mõjutada denitrifikatsiooni: pakkudes sobivaid tingimusi mikroobide kasvuks ja aktiivsuseks, täites mulla poore, võib vähendada hapniku juurdepääsu, süsiniku ja lämmastiku vabanemine substraatidest märja ja kuiva perioodi vaheldumisel, kandes toitained mullaorganismidest eemale (Buchkina et al. 2013).



**Joonis 1.** Lämmastiku muundumise protsessid mullas (Pilegaard 2013).

### 1.2.2. Lämmastikinhibiitorid

Viimastel aastatel on järjest olulisemaks tõusnud vajadus vähendada lämmastikväetiste kasutamise mahtu samal ajal suurendades nende efektiivsust, et väheneks põllumajanduslik hajureostus ning KHG-de voog põllumajandusest (Di, Cameron 2012). Põllumeestel pole võimalik muuta peamisi  $N_2O$  lendumist ja  $NO_3^-$  leostumist põhjustavaid tegureid nagu temperatuur, sademete režiim ja mulla tüüp, kuid nad saavad erinevate maaharimisvõtetega kasvõi osaliselt mõjutada mulla omadusi ja seeläbi toitainete efektiivsust ja püsivust (Keskkonnaministeerium 2016). Üheks selliseks potentsiaalseks võimaluseks on lämmastikväetiste mõju suurendamine lämmastikinhibiitorite abil. Nende näol on tegemist looduslike või sünteetiliste ühenditega, mille abil saab nitrifikatsiooni esimest etappi teatud ajani edasi lükata (Florio et al. 2014, Liu et al. 2015). Lämmastik on taimedele kättesaadav nii  $NO_3^-$  kui ka  $NH_4^+$  vormis. Negatiivse laenguga  $NO_3^-$  on lämmastiku kõige ebapüsivam vorm ja seotud rohkem veega ning on selles väga liikuv, positiivselt laetud  $NH_4^+$  on rohkem seotud mullaosakestega, mistõttu selle ärakanne veega on väiksem kui  $NO_3^-$  (Pärn et al. 2012). Lämmastikinhibiitorid stabiliseerivadki mullas teatud ajani  $NH_4^+$ -i ning see ei reageeri kohe edasi  $NO_3^-$ -ks (Cameron et al. 2013, Bernsdtrup 2016). Lämmastikinhibiitorite abil  $NH_4^+$  stabiliseerimine teatud ajani võib viia tulemuseni, kus lämmastiku ärakanne põllult on väiksem ja taimede saavad seda rohkem omastada (Lamb et al. 2014). Nende efektiivsus sõltub mitmetest teguritest, eelkõige mulla omadustest, väetamisest, kasvavast põllukultuurist ja kliimast (Misselbrook et al. 2014, Yang et al. 2016). Lämmastikinhibiitorite hakati arendama 1950ndate aastate teises pooles ning sealt alates on nad aina enam kasutuses (Zerulla et al. 2001). Alljärgnevalt on toodud näited tuntumatest lämmastikinhibiitoritest.

Bioloogilised nitrifikatsiooni inhibiitorid on kindlad taimed, mis eritavad juurte kaudu risosfääris nitrifikatsiooni pärssivaid aineid. Taimede nitrifikatsiooni inhibeerimise võimet peetakse hüpoteetiliselt nende kohanemisvõimeks, et talletada ja suurendada lämmastiku efektiivsust keskkonnas, kus lämmastiku tase on madal (Di, Cameron 2012).

DCD (ditsüaandiamiid ( $C_2H_4N_4$ )) on mullas elava ammoniaaki oksüdeeriva bakteri kasvu ja elutegevust aeglustav lämmastikinhibiitor, mille tagajärjel väheneb nitrifikatsiooni protsessi toimumise kiirus ja lämmastik püsib kauem  $NH_4^+-N$  vormis (Di, Cameron 2012). DCD puudusteks on selle liiga kõrge hind laiatarbeliseks kasutamiseks põllumajanduses ja aianduses, kuna nitrifikatsiooni piisavaks pärssimiseks on kulunorm suur, sest kasutegur on suhteliselt madal. Lisaks on see vees hästi lahustuv ja paduvihmad võivad DCD mullaprofiilis

sügavamale uhtuda, kus mõju  $\text{NH}_4^+$ -le kaob. DCD-l on oht mõnedele taimedele toksiliseks muutuda ning neile väliseid kahjustusi põhjustada, mis omakorda mõjutab nende turustatavust (Zerulla et al. 2001).

Nitrapüriin [2-kloro-6(triklorometüül)püridiin] on nitrifikatsiooni inhibiitor, mida tutvustati esmakordselt 1962. aastal Ameerikas (Zerulla et al. 2001). See on kloororgaaniline ühend, mis on lahustuv orgaanilistes lahustes, kuid vees praktiliselt lahustumatu. Sellel on suhteliselt kõrge aururõhk (0,4 Pa 23°C juures), mis takistab kasutamist tahkete väetiste juures. Nitrapüriin viiakse tavaliselt mulda koos veevaba ammoniaagiga. Nitrifikatsiooni inhibeerimiseks piisab 1-10 mg/kg nitrapüriini lisamisest (Di, Cameron 2012).

DMPP (3,4-dimetüül-1H-pürasoolfosfaat) on üks kõige efektiivsemaks peetav ja laiemalt kasutuses olev lämmastikinhibiitor (Florio et al. 2014), mida on turustatud aastast 1999 (Kong et al. 2016). DMPP on mittelenduv ja mullas vähem liikuv kui DCD või nitrapüriin ning selle kulunorm on teistega võrreldes palju väiksem (0,5-1,5 kg/ha) (Zerulla et al. 2001, Kong et al. 2016). See on läbinud edukalt mitmed toksikoloogilised ja ökotoksikoloogilised testid, kus võrdluses teiste nitrifikatsiooni inhibiitoritega omab olulisi eeliseid, samuti on DMPP tunnustatud nii kemikaaliseaduse poolt kui ka registreeritud rahvusvahelise väetiseseaduse järgi (Zerulla et al. 2001).

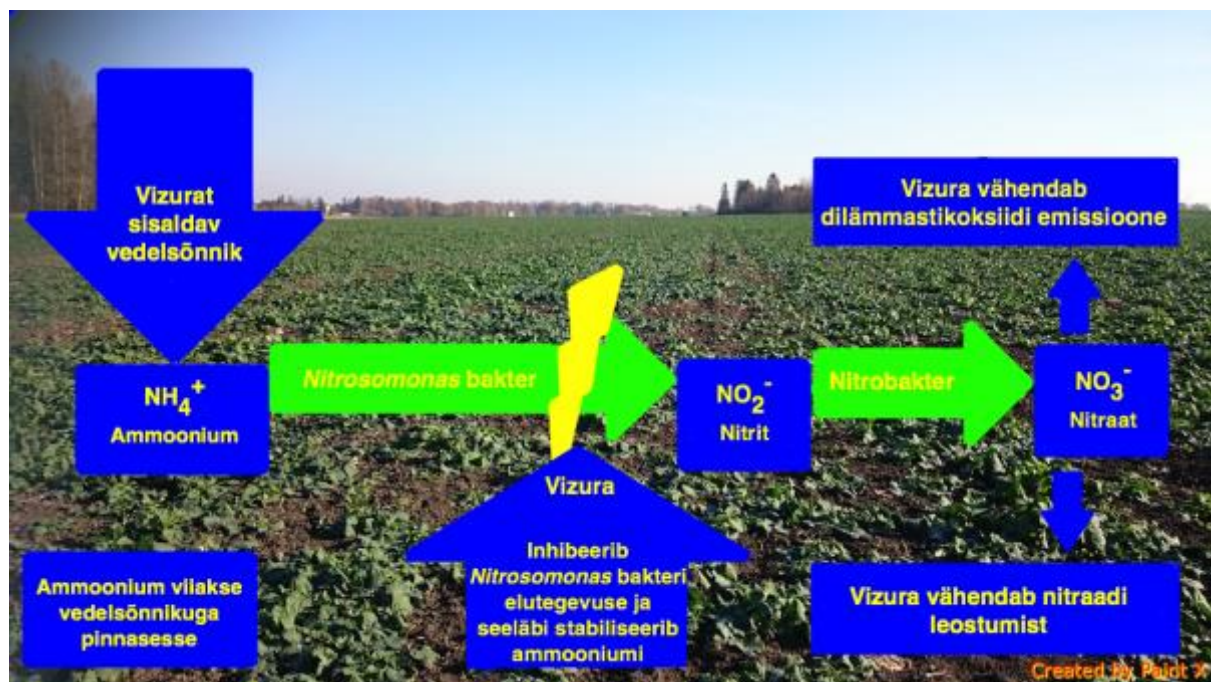
### **1.2.3. Vizura mõju põllumajandusliku hajureostuse ja $\text{N}_2\text{O}$ emissiooni vähendamiseks**

Lämmastiku lendumise ja leostumise vähendamiseks ning taimedele omastamise parandamiseks kasutati Eestis 2016. aasta kevadel Voore Farmis esmakordselt  $\text{NH}_4^+$  stabiliseerivat preparaati Vizura, mis segati enne vedelsõnniku laotamist sõnnikusse. Vizura on BASF-i (Saksamaa) poolt koostöös ülikoolide ja teiste teadusasutustega väljaarendatud nitrifikatsiooni inhibiitor, mille toime baseerub DMPP-l. Vizura koostises on 40% ulatuses fosfor- ja ortofosforhapped ning 10% ulatuses DMPP, mis teeb sellest väga tugeva happelahuse, kus pH on 0,5-1. DMPP ülesanne on fikseerida lämmastik mullaosakestega (BASF 2016).

Vizura mõju avaldub nitrifikatsiooni esimeses etapis, kus DMPP blokeerib mullas nitrifikatsiooni läbiviiva *Nitrosomonas* bakteri elutegevuse (Joonis 2) ning  $\text{NH}_4^+$ -N muundumine  $\text{NO}_2^-$ -ks lükatakse sõltuvalt keskkonnatingimustest, põllumaa iseärasustest ja tõenäoliselt ka külvatud kultuurist 4-15 nädalat edasi, see tagab taimedele pikaajalisema ja tõhusama lämmastiku kasutamise võimaluse (Zerulla et al. 2001, BASF 2016)). Vizura

toimeaeg mullatemperatuurist sõltuvalt on 10-15 nädalat 5°C juures, 6-10 nädalat 10°C juures ja 4-6 nädalat 20°C juures. Vizura efektiivsus N<sub>2</sub>O lendumise vähendamisel on arvatud ca 50% ning NO<sub>3</sub><sup>-</sup> leostumise puhul ca 35% (Bernsdtrup 2016). Vizura eelis on madal kulunorm, 2-3 l/ha on piisav, et tagada nitrifikatsiooni pärssimine (Zerulla et al. 2001, BASF, 2016). Vizura eeliseks on väiksem liikuvus mullaprofiilis kui näiteks DCD-l või nitrapüriinil. DMPP järgi võib mullast leida kuni viis kuud peale selle sinna viimist (Kong et al. 2016).

Vizura segatakse vedelsõnnikuga vahetult laguunist välja pumpamisel või laotamise ajal spetsiaalse Dosistar pumbasüsteemi abil, mis on mõeldud vedelike doseerimiseks ja mõõtmiseks põllumajanduses. Kulunorm hektari kohta on vastavalt 2 l/ha või 3 l/ha, sõltumata kasutatavast vedelsõnniku kogusest. 2 l/ha kohta on määratud hilissuvest sügiseni toimuva künni puhul, kus segamine toimub sügavamale kui 20 cm pinnasesse. Kulu 3 l/ha kohta on hilissuvest sügiseni või kevadel, kui toimub pindmine harimine kamarseadme, kultivaatori või lohisvoolikuga ning segamine toimub 0-20 cm sügavusele pinnasesse (BASF 2016).



**Joonis 2.** Lämmastiku liikumine mullas ja Vizura mõju *Nitrosomonas* bakterile

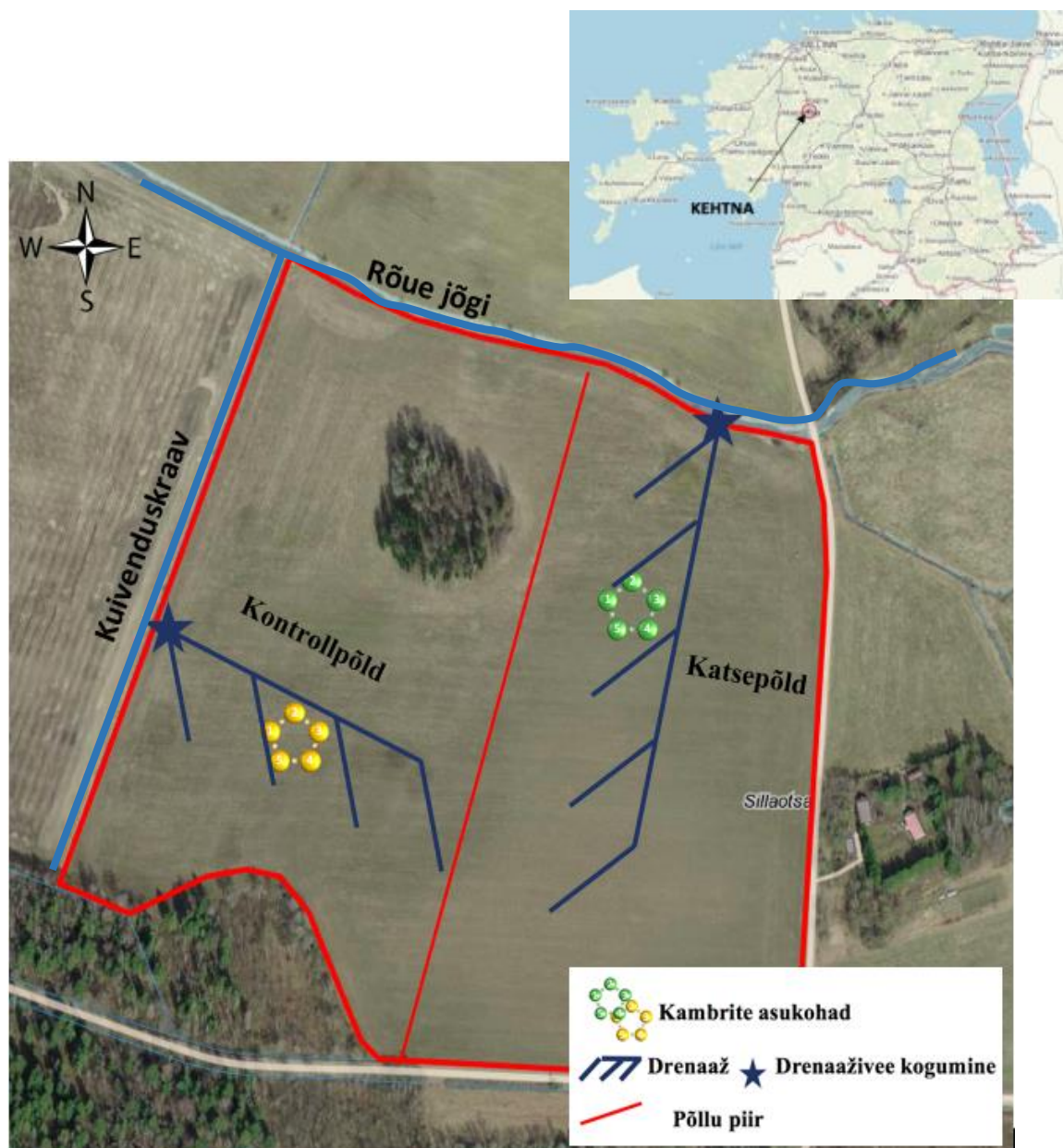
## 2. Materjal ja metoodika

### 2.1. Põllumaa kirjeldus

Uurimisala asus Kesk-Eestis Rapla maakonnas Kehtna vallas Kehtna Mõisa OÜ põllumaal (58°55'N, 24°51'E). Kogu katseala pindala on 20 hektarit ning see külgneb läänest kuivenduskraaviga (Lisa: Foto 3), põhjast Rõue jõega ning idast ja lõunast kruusateega. Valiku tegemisel oli oluline põlluosade sarnasus ning drenaaži olemasolu, et saaks koguda veeproove ja seeläbi hinnata  $\text{NO}_3^-$ -N ja  $\text{NH}_4^+$ -N leostumist põllult (Joonis 3).

Põllule külvati 5. augustil talirapsi ning väetamiseks kasutas Kehtna Mõisa OÜ nende enda veisekasvatusest pärinevat vedelsõnnikut 30 tonni hektari kohta. Keskmise  $\text{NH}_4^+$ -N sisaldus sõnnikus oli laotamise päeval 6132,2 mg/kg ja pH 8,02. Katse teostamiseks jagati põllumaa kaheks võrdseks osaks (mõlemad 10 ha): kontroll- ja katseväljaks, kus esimesele laotati vedelsõnnik ilma lämmastikinhibiitorita ja viimasele koos lämmastikinhibiitori preparaadi Vizuraga. Vizura kulunormiks oli 3 l/ha, kuna hilissuvisel kündmisel näeb preparaadi kulunorm nii ette (BASF-i esindaja Margus Saviste suulised andmed).





**Joonis 3.** Kontroll- ja katsepõllu paiknemise asukoht ja selle asend Eesti kaardi suhtes (kaart: Maa-amet).

## 2.2. Andmete kogumine ja analüüsimine

Töös kasutatavad andmed koguti välitööde käigus perioodil 4. august kuni 20. oktoober 2016.

### 2.2.1. Gaasivood

N<sub>2</sub>O-N voogude mõõtmiseks koguti staatilise suletud kambri meetodil gaasiproovid (Lisa: Foto 4) (Kasak, 2016). Mõõtmised teostati perioodil 5. august kuni 20. oktoober 2016, proovide võtmine toimus alati kella 12-16 vahel. Algseisu fikseerimiseks võeti enne talirapsi külvamist ja vedelsõnnikuga väetamist N<sub>2</sub>O-N proove 5. augustil, seejärel esimese nädala jooksul, vahetult peale sõnniku laotamist, koguti proove iga päev. Järgmistel nädalatel kuni esimese kuu lõpuni võeti proove kolm kuni neli korda nädalas ning peale seda üks kord nädalas. Proovikogumise tarbeks paigaldati nii kontroll- kui ka katsepõllu pinnasesse umbes 10 cm sügavusele PVC-st (polüvinüülkloriid) valmistatud ja läbimõõduga 50 cm viis rõngast (Lisa: Foto 1, Foto 2), kuhu peale asetati proovikogumiise ajaks kambrid. Iga mõõtesessiooni alguses täideti rõngaste ääred veega, et tagada õhukindel süsteem rõnga ja kambri vahel gaasiproovide kogumise ajaks kambrist. Rõngad paigaldati mõlemal põlluosal viisnurkselt asukohaga selliselt, et lähedal oleks võimalik drenaaži abil koguda põllult tuleva vee proove (Vizuraga alal suubus drenaaž kuivenduskraavi; kontrollalal Rõue jõkke). Gaasiproovide kogumine toimus PVC-kambrite (kõrgus ja diameeter 50 cm, ruumala 65 l) abil, mis olid valget värvi ja läbipaistmatud, et vältida kambri seest soojenemist ja fotosünteesi mõõtesessiooni ajal (Kasak, 2016).

Proovide kogumine toimus kokku kümnel mõõtepunktilt (viis katsepõllul ja viis kontrollpõllul), kus ühe tunni jooksul võeti 20-minutilise intervalliga (0 min, 20 min, 40 min ja 60 min) igalt rõngalt neli proovi eelnevalt vaakumpumba abil õhust tühjendatud klaaspudelitesse (ruumala 50 ml). Proovid võeti alati kõigepealt katsepõllult ning seejärel kontrollpõllult. N<sub>2</sub>O sisaldus kogutud proovides määrati gaaskromatograafia (Shimadzu GC-2014) Tartu Ülikooli ÖM Kliimamuutuste laboris.

### 2.2.2. Vedelsõnniku, vee- ja mullaparametrid

Vedelsõnniku proove võeti enne põllule laotamist ning laboris analüüsiti selle NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N (mg/kg) sisaldust, et teada saada mulda viidud lämmastiku kogust ja hinnata, kui palju lämmastiku lenduda ja leostuda võib.

Mullavee proove koguti drenaaži abil mõlemalt katsealalt augustis 13, septembris viis ja oktoobris kolm korda. 18. augustil mulla veeproove võtta ei õnnestunud, kuna rohkete sademete tõttu oli drenaaži väljavoolu toruots ummistunud. Kontrollpõllul koguti vesi drenaaži väljavoolust jõkke ning katsepõllul drenaaži väljavoolust kuivenduskraavi. Vee kogumine

toimus teadaoleva ruumalaga plastpudelisse, kus vooluhulk arvutati pudeli ruumala ja selle veega täituvuse aja järgi.

Mullaproove võeti augustis viis, septembris kolm ja oktoobris kaks korda. Samuti esialgse olukorra fikseerimiseks võeti mullaproovid vahetult enne sõnniku laotamist nii kontroll- kui ka katsepõllult. Proovid koguti mullapuuriga ja kompleksproovina (minimaalselt 15 kohast). Mulla- ja veeproovides analüüsiti  $\text{NO}_3^-$ -N (mg/l),  $\text{NH}_4^+$ -N (mg/l),  $\text{PO}_4^{3-}$ -P ( $\mu\text{g/l}$ ) ja fosfori ( $\mu\text{g/l}$ ) sisaldust ja pH-d Eesti Maaülikooli Taimebiokeemia laboris; lahustunud ja üldlämmastikku ning -süsinikku Tartu Ülikooli ÖMI Biogeokeemia laboris.

### **2.2.3. Meteoroloogilised parameetrid**

Samaaegselt proovide kogumisega mõõdeti aladelt mulla niiskust ja elektrijuhtivust (ProCheck Decagon Devices, USA) ning mullatemperatuuri neljalt sügavuselt (Comet 4 kanaliga temperatuuri andmeloger S0141 koos pt1000 sensoritega, COMET SYSTEM, Tsehhi): 10cm, 20 cm, 30 cm, 40cm.

Ilmastiku analüüsimiseks kasutati proovialale lähimas KAUR-i Kuusiku meteoroloogiajaamas mõõdetud ( $\text{N}58^\circ58'23''$   $\text{E}24^\circ44'02''$ ) maapinna ööpäeva keskmist temperatuuri ning ööpäevast sademete hulka, mis saadi Riigi Ilmateenistuse andmebaasist. Maapinnatemperatuuride alusel sooviti hinnata Vizura mõjuperioodi ning analüüsida sademete mõju lämmastiku lendumisele ja leostumisele.

### **2.2.4. Statistiline analüüs**

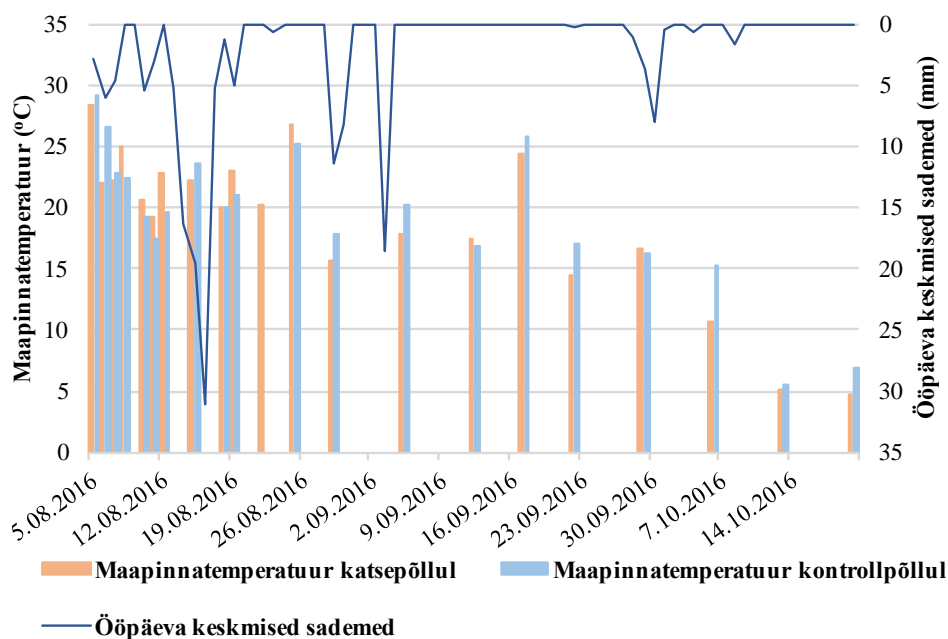
Kõik uurimuse jaoks kogutud andmed analüüsiti MS Office tabelarvutusprogrammiga Excel. Statistiline andmetöötlus tehti programmiga Statistica 10 (Statsoft Inc., USA). Esmalt kontrolliti andmete vastavaust normaaljaotusele kasutades Kolomogorov-Smirnovi, Lillieforsi ja Shapiro-Wilksi teste. Kuna normaaljaotust ei esinenud kasutati edasisteks analüüsideks mitteparameetrilisi teste. Kontroll- ja katsepõllu  $\text{N}_2\text{O}$ -N voogude, mulla ja mulla drenaaživee  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P ja fosfori kontsentratsiooni omavahelist statistilist olulisust kontrolliti Mann-Whitney U-testi abil ning Spearmani astakorrelatsiooni analüüs viidi läbi uurimaks tunnuste vaheliste monotoonsete seoste tugevust. Olulisuse nivoo oli kõigil juhtudel  $p < 0,05$ . Joondiagrammid koostati MS Office tabelarvutusprogrammiga Excel. Karp-vurrud diagrammid vormistati R-Studio programmis.

### 3. Tulemused ja arutelu

#### 3.1. Meteoroloogilised parameetrid

Keskmine maapinnatemperatuur 20 cm sügavusel mullas gaasivoogude mõõtmise ajal kontroll- ja katsepõllul üksteisest mõõteperioodi vältel oluliselt ei erinenud, need olid vastavalt 19,4 °C ja 19,0°C. Kõige kõrgem mõõdetud temperatuur oli 5. augustil kontrollpõllul 29,1 °C ja katsepõllul 28,4 °C ning madalaim mõõdetud temperatuuri oli kontrollpõllul 13. oktoobril 5,6 °C ja katsepõllul 20. oktoobril 4,8 °C. Kõige suurem temperatuuride erinevus oli 6. augustil, kus kontrollpõllul mõõdeti temperatuur 4,4 °C kõrgem kui katsepõllul (Joonis 4).

Ööpäevakeskmiste sademete hulk Kuusiku meteoroloogiajaamas mõõteperioodil oli 2,1 mm. 10.-19. augustil esines kümnapäevane vihma periood, kus ainult 12. augustil ei sadanud. Suurim sademete hulk (31,1 mm) oli 16. augustil. Selle perioodi ööpäevakeskmiste sademete keskmine hulk oli 9,2 mm (Joonis 4).



**Joonis 4.** Keskmine maapinna temperatuur kontroll- ja katsepõllul gaasivoogude mõõtmise ajal ning Kuusiku meteoroloogiajaama ööpäevakeskmised sademed proovide kogumisperiodil august-oktoober 2016.

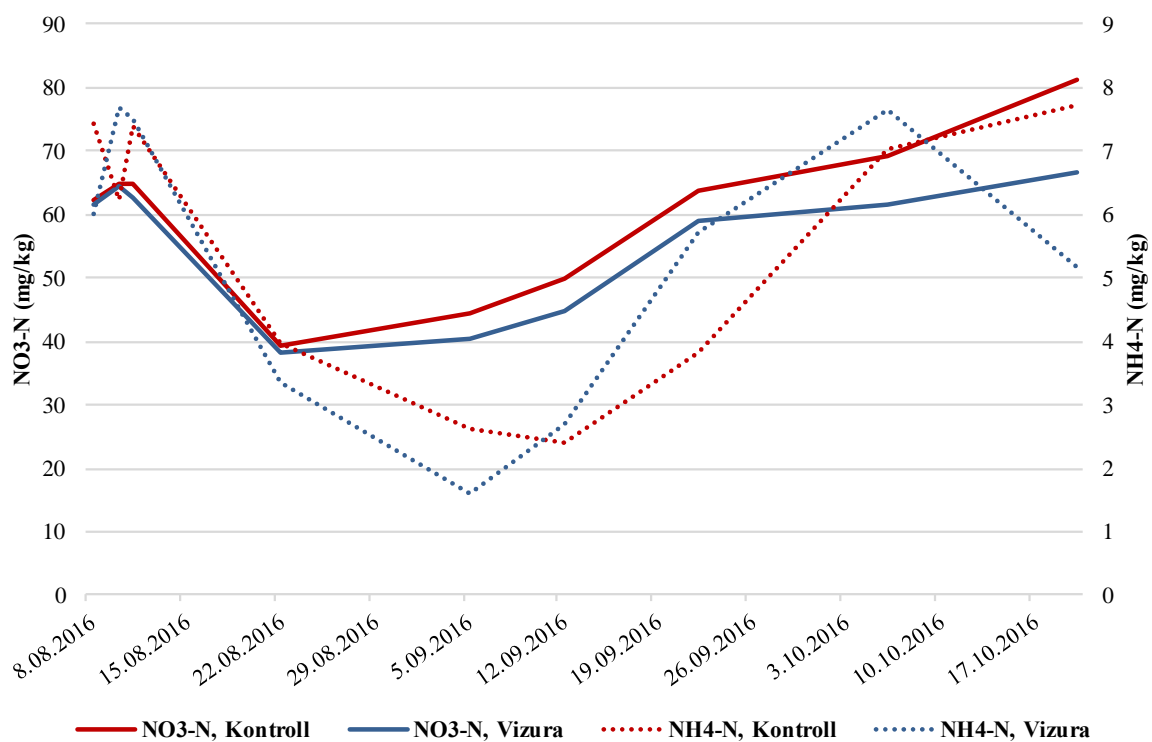
### 3.2. Lämmastik mullas ja selle leostumine

Mulla  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  sisaldus tõusis peale väetamist mõlemal põllul, 4. augustil oli see kontroll- ja katsepõllul vastavalt 3,08 mg/kg ja 4,35 mg/kg, peale väetamist võetud mullaproovis (8. august) oli see 7,43 mg/kg ja 6,0 mg/kg. See on tingitud sellest, et  $\text{NH}_4^+$  on peamine vorm, milles vedelsõnnikuga mulda viidud lämmastik esineb (Fangueiro et al. 2009).

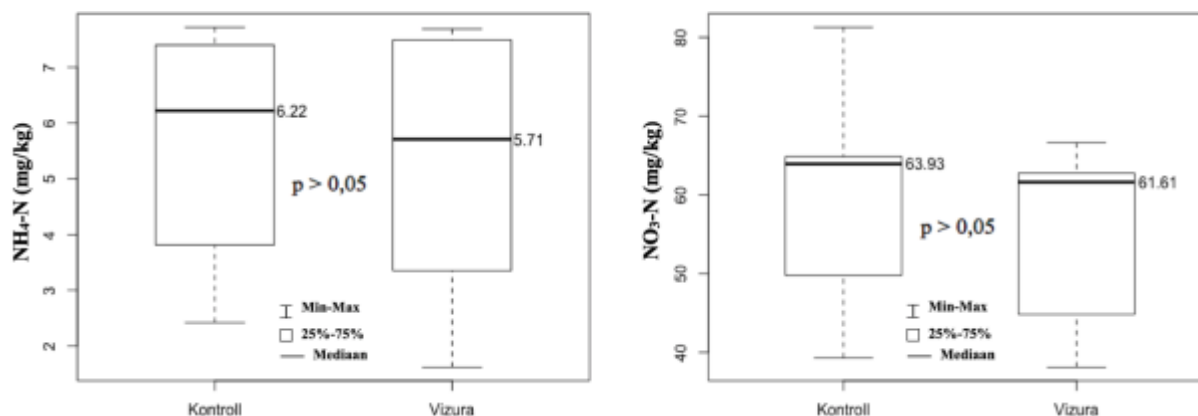
Vizuraga põlluosal võiks eeldada mulla  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  suuremat sisaldust, kuna preparaadil on madal lagunemisaste, mis laseb sellel kauem peatada bakterirühma *Nitrosomonas* elutegevust ja seeläbi stabiliseerida  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (Zerulla et al. 2001, BASF 2016). Keskmise  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  sisaldus peale vedelsõnniku mulda viimist varieerus mõõteperioodi jooksul kontrollpõllul vahemikus 2,42-7,72 mg/kg ja katsepõllul 1,62-7,69 mg/kg. Keskmise  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  sisaldus mullas oli kontrollpõllul 5,40 mg/kg ja katsepõllul 5,26 mg/kg.  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  kontsentratsioonide statistiliselt usaldusväärset erinevust kontroll- ja katsepõllu mullas Mann Whitney U-testiga ( $p>0,05$ ) ei täheldatud (Joonis 6). Portugalis tehtud uuringus leidis Fangueiro et al. (2009), et põllul, kus kasvas raihein oli veiseläga + DMPP laotamisel mullas  $\text{NH}_4^+$  kontsentratsioon statistiliselt oluliselt suurem ( $p<0,05$ ) kuni 70 päeva peale väetamist, kui põllul, kuhu kanti veiseläga ilma lämmastikinhibiitorita. Kehtnas oli keskmine  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  sisaldus mõlemal põllul samas suurusjärgus. Samas 15-16. november 2016 Green Agri seminaril esinenud Ivan Brensdtrupi ettekanne sisaldas näidet, kus 2015. aastal Taanis laotati kolmele põllule vedelsõnnikut, neist ühele lisaks Vizurat, teisele Piadini (ka lämmastikinhibiitor) ja kolmas jäi ilma lämmastikinhibiitorita. Mõõteperioodi alguses (16. aprill) oli  $\text{NH}_4^+$  sisaldus kõigi kolme põllu mullas sama. 4. mail oli katsepõllul  $\text{NH}_4^+$  sisaldus poole suurem kui lämmastikinhibiitorita põllul, 15. mail oli vahe  $\text{NH}_4^+$  sisalduses nelja kordne. Perioodi viimasel mõõtekorral, 26. mail oli  $\text{NH}_4^+$  sisaldus Vizura ja lämmastikinhibiitorita põllul sama (Bernsdtrup 2016).

$\text{NO}_3^-\text{-N}$  keskmine sisaldus mõõteperioodi jooksul varieerus kontrollpõllul suuremas vahemikus 39,29-81,29 mg/kg kui katsepõllul 38,12-66,62 mg/kg, kusjuures keskmine  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  sisaldus oli kontrollpõllu mullas 4,06 mg/kg võrra suurem, vastavad kontsentratsioonid olid 59,12 mg/kg ja 55,06 mg/kg. Selline tulemus oli oodatav, kuna Vizura kasutamise eesmärk on stabiliseerida mullas  $\text{NH}_4^+$ , et see ei muunduks nii kiiresti  $\text{NO}_3^-\text{-ks}$ . Kuid statistilist olulisust  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  sisalduse erinevuses kontroll- ja katsepõllu mulla vahel Mann Whitney U-testiga ( $p>0,05$ ) siiski ei täheldatud (Joonis 6). Jooniselt (Joonis 5) on näha, et  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  sisaldus mõlemal põllul peale vedelsõnniku laotamist algselt tõusis, kuid langes alates 10. augustist kuni 22. augustini, mil  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  sisaldus oli mullas kõige madalam nii kontroll- kui ka

katsepõllul. Peale 22. augustit hakkas  $\text{NO}_3^-$ -N sisaldus pidevalt tõusma, oluline on siin kohal see, et kontrollpõllul toimus  $\text{NO}_3^-$ -N kontsentratsiooni tõus kiiremini kui katsepõllul. Maksimaalsed  $\text{NO}_3^-$ -N kontsentratsioonid mullas mõõdeti perioodi viimasel päeval kontrollpõllul 81,29 mg/kg ja katsepõllul 66,62 mg/kg. Meie uuringuga sarnane tulemus leiti ka Fanguero et al. (2009) poolt Portugalis tehtud uuringus, kus DMPP ei avaldanud kogu katseperioodi vältel statistiliselt olulist mõju mulla  $\text{NO}_3^-$  kontsentratsioonidele. Ka Abalos et al. (2017) leidis, et lämmastikinhibiitori (DMPP) oluline mõju mulla  $\text{NO}_3^-$  kontsentratsioonidele puudus. Ainus märgatavalt suurem  $\text{NO}_3^-$  kontsentratsiooni tõus esines mõni päev peale suuremat vihmaperioodi.



**Joonis 5.** Keskmine  $\text{NH}_4^+$ -N ja  $\text{NO}_3^-$ -N sisaldus kontrollpõllu- ja katsepõllu mullas mõõteperioodil august-oktoober 2016.

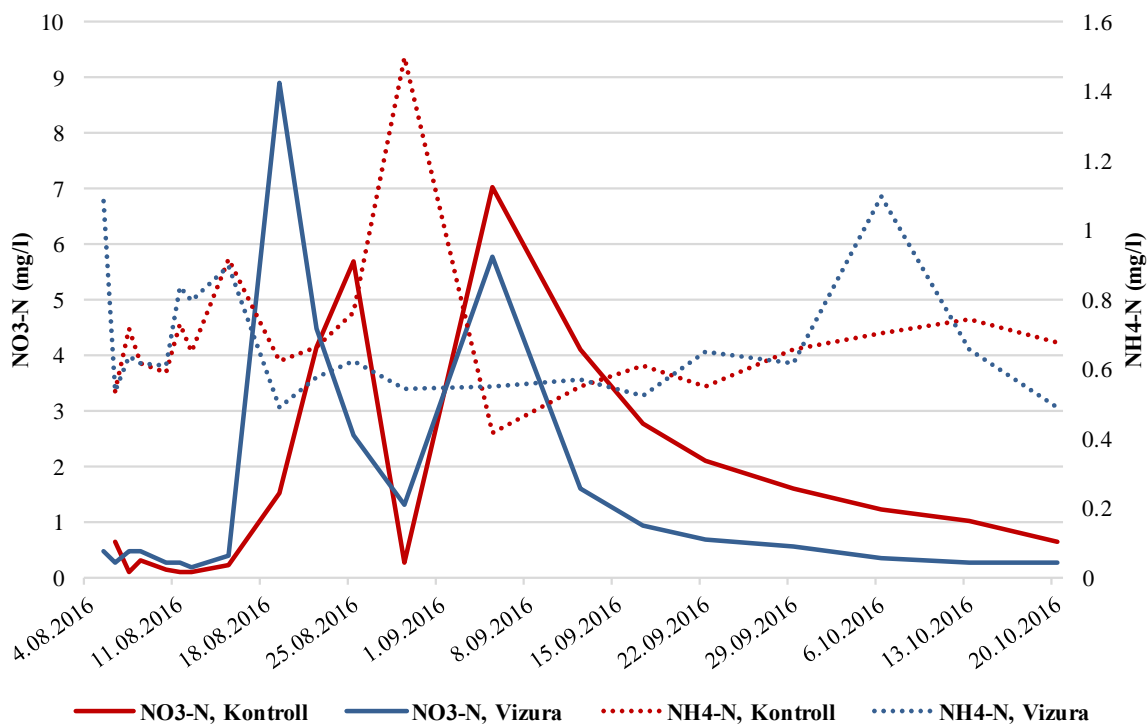


**Joonis 6.**  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ja  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  varieeruvus ja statistilised näitajad (mediaanväärtused, 25- ja 75-protsentilid, miinimum ja maksimum väärtused) kontroll- ja katsepõllu mullas mõõteperioodil august-oktoober 2016 (Mann Whitney U-test,  $p > 0,05$ ).

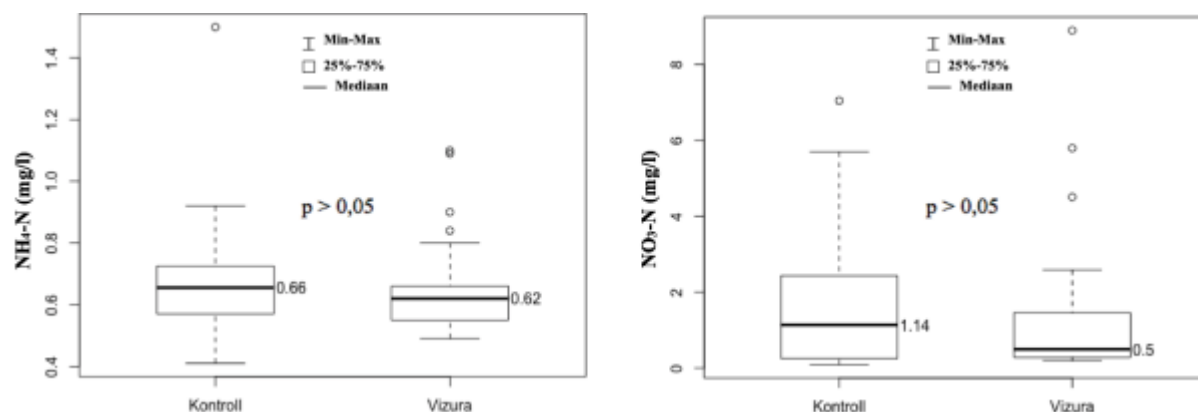
Joonistelt (Joonis 7, Joonis 8) on näha, et  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  kontsentratsioonid kontroll- ja katsepõllu mulla drenaaživees üksteisest praktiliselt ei erinenud, mida kinnitab ka Mann Whitney U-test ( $p > 0,05$ ).  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  kontsentratsioonid kontroll- ja katsepõllu mulla drenaaživees varieerusid vahemikes 0,41-1,50 mg/l ja 0,49-1,10 mg/l ning perioodi keskmine  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  kontsentratsioon oli kontrollpõllu mullavees 0,04 mg/l võrra suurem kui katsepõllul, vastavalt 0,70 mg/l ja 0,67 mg/l. Mõlema põllu puhul on graafikul näha üks mõõtekord, kus  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  sisaldus mulla drenaaživees oli kõrgem kui teisel põllul. Kontrollpõllul on selline tõus 29. augustil ning katsepõllul 6. oktoobril. Vizura ei mõjutanud  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ärakannet mullast tõenäoliselt seepärast, et  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  on seotud rohkem mullaosakestega, see on väga ebastabiilne ning muundub kiirelt  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ -ks (Pärn et al. 2012, Cameron et al. 2013).

$\text{NO}_3^-$  leostumine põllumullast on drenaaži olemasolul palju kiirem, kuid samas suurendab see mulla hapniku kontsentratsiooni, mis omakorda vähendab denitrifikatsiooni potentsiaali ning lämmastik püsib kauem  $\text{NO}_3^-$  vormis (Cameron et al. 2013).  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  kontsentratsioonide varieeruvus kontroll- ja katsepõllu mulla drenaaživees oli vahemikes 0,07-7,05 mg/l ja 0,20-8,90 mg/l. Perioodi keskmine  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  sisaldus oli kontrollpõllul 1,69 mg/l ning katsepõllul 0,16 mg/l võrra väiksem: 1,54 mg/l. Statistiliselt  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  sisaldused mulla drenaaživees üksteisest ei erinenud ( $p > 0,05$ ), mis annab alust arvata, et Vizura mõju leostumise vähendamisele meie uuringus ei avaldanud, kuna peale Vizura mulda viimist esines intensiivne vihmaperiood. Sama leidsid ka Gu, Riley (2010) mudelanalüüsi käigus kahe stsenaariumi korral, kus 15 mm/kuus vihma korral ja 150 mm/kuus vihma korral  $\text{NO}_3^-$  leostumine mullast oli väga kõrge ja tundlik vihmale. Díez-López et al. (2008) uuringus leiti, et sama lämmastiku

koguse mulda viimisel olid DMPP-ga mullavee  $\text{NO}_3^-$  kontsentratsioonid alati madalamad kui ilma lämmastikinhibiitorita põllu mullavees. Ka Taanis tehtud uuringu põhjal vähendab Vizura  $\text{NO}_3^-$  leostumist ca 35% (Bernsdtrup 2016).



**Joonis 7.** Keskmise  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ja  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  sisaldus kontrollpõllu- ja katsepõllu mulla drenaaživees mõõteperioodil august-oktoober 2016.



**Joonis 8.**  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ja  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  varieeruvus ja statistilised näitajad (mediaanväärtused, 25- ja 75-protsentiilid, miinimum ja maksimum väärtused) kontroll- ja katsepõllu mulla drenaaživees mõõteperioodil august-oktoober 2016 (Mann Whitney U-test,  $p > 0,05$ ).



### 3.3. Lämmastiku lendumine

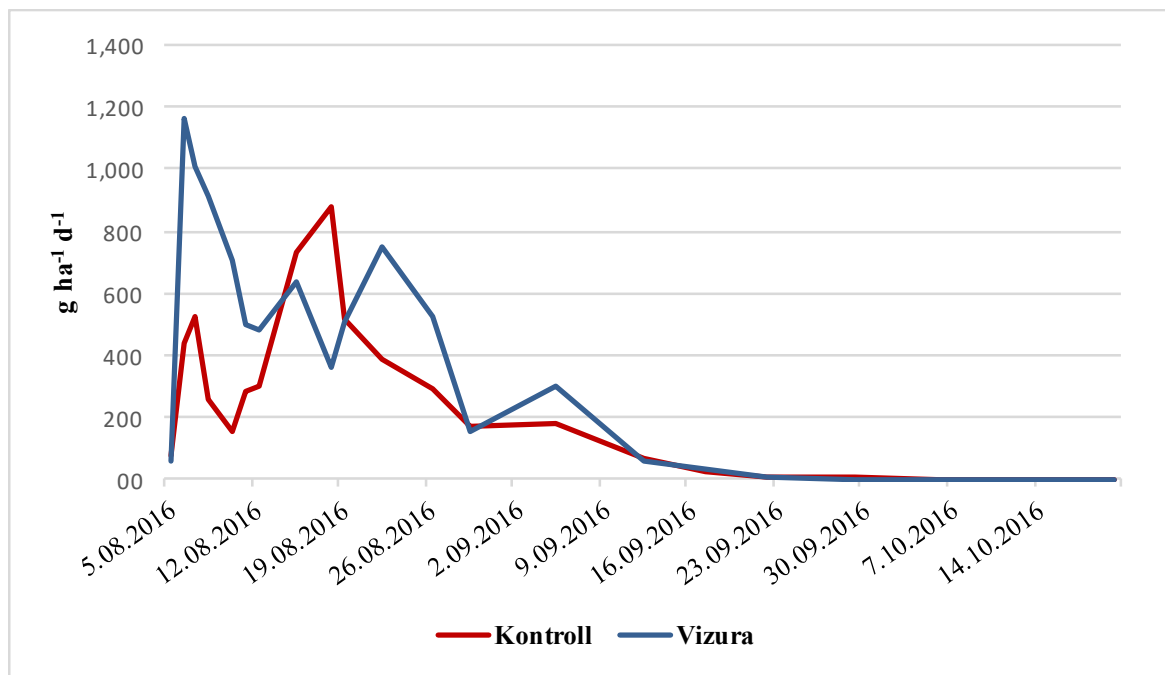
Joonistelt (Joonis 9, Joonis 10) on näha, et katsepõllul olid  $\text{N}_2\text{O}$ -N vood kõrgemad kui kontrollpõllul, väljaarvatud lühike periood augusti keskel (15., 18., ja 19. august), kus kontrollpõllu  $\text{N}_2\text{O}$ -N vood tõusid kõrgemaks kui katsepõllul. Kontroll- ja katsepõllu  $\text{N}_2\text{O}$ -N vood üksteisest Mann Whitney U-testi järgi statistiliselt ei erinenud ( $p > 0,05$ ). Keskmine  $\text{N}_2\text{O}$ -N voog mõõteperioodil oli kontrollpõllult  $252,9 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  ja katsepõllult  $389,9 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .  $\text{N}_2\text{O}$ -N vood varieerusid kontroll- ja katsepõllult vastavalt vahemikes  $0,3\text{--}878,1 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  ja  $0,5\text{--}1160 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , katsepõllul oli  $\text{N}_2\text{O}$ -N emissioonide varieeruvus suurem.

Kontroll- ja katsepõllu tulemused  $\text{N}_2\text{O}$ -N emissioonide osas olid vastupidised oodatuga, kus eeldati väiksemaid  $\text{N}_2\text{O}$ -N voogusid lämmastikinhibiitoriga põllult, kuna Vizura efektiivsuseks  $\text{N}_2\text{O}$  vähendamisel võib olla ca 50% (Bernsdtrup 2016). Vizura peaks inhibeerima nitrifikatsiooni esimest etappi (Zerulla et al. 2001) ning seeläbi vähendama edasise protsesse (nitrifikatsioon ja denitrifikatsioon), mille käigus tekib  $\text{N}_2\text{O}$  (Takaya et al. 2003, Buchkina et al. 2013, IPNI 2014, Ligi 2015). Põhja-Hispaanias raiheina põllul viidi läbi katse, kus veiseläga ja veiseläga + DMPP võrdluses vähenes  $\text{N}_2\text{O}$  voog lämmastikinhibiitoriga põllult 29%. Peale 24 päevast perioodi olid  $\text{N}_2\text{O}$  vood kontrollpõlluga uuesti samal tasemel (Merino et al. 2006). Ruser ja Schulz (2015) toovad oma nitrifikatsiooni inhibiitoride mõju  $\text{N}_2\text{O}$ -le uurivas ülevaates välja mitmeid uuringuid, kus DMPP on märgatavalt vähendanud  $\text{N}_2\text{O}$  lendumist. Käesolevas uuringus saadud suuremad  $\text{N}_2\text{O}$ -N vood katsepõllult võisid olla mõjutatud intensiivsest vihmast vahetult peale sõnniku laotamist, mis vähendas oluliselt Vizura toimeaga. Austraalias Queenslandis mõõdeti nisu ja odra põllult kolme aasta jooksul  $\text{N}_2\text{O}$  lendumist automaatkambritega, kus leiti, et pärast tugevaid vihmasadusid ( $>20 \text{ mm}$ ) tõusid  $\text{N}_2\text{O}$  vood ( $>20 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) ning kestsid kuni kaks nädalat. Väiksemad vihmaperioodid sealsete tingimuste juures  $\text{N}_2\text{O}$  vooge märgatavalt ei suurendanud (Reeves, Wang 2015). Nii suur vihmasedu ( $22,3 \text{ mm}$ ) esines Kehtnas kolme ööpäeva keskmisena 14-16. august. Peale vihma, 18. augustil võetud gaasiproovid näitasid, et katsepõllul oli sel päeval  $\text{N}_2\text{O}$ -N lendumine poole suurem kui kontrollpõllul, mis võib näidata, et Vizural esines väga lühiajaline mõju, sest hiljem toimus katsepõllult jätkuvalt suurem  $\text{N}_2\text{O}$ -N lendumine.

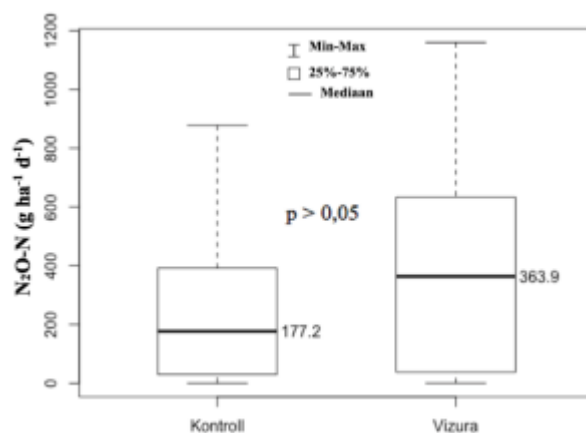
Lisaks keerukatele vastasmõjudele kliimategurite, mulla omaduste ja mullaharimise vahel (Buchkina et al. 2013) toimub  $\text{N}_2\text{O}$  voogude suur varieeruvus ööpäeva jooksul (Reeves, Wang 2015). Peamiseks mõjutajaks on õhu- ja pinnasetemperatuuride ööpäevane muutus (Van Der Weerden et al. 2013), mis tuli välja ka meie katses, kus maapinnatemperatuuri ja  $\text{N}_2\text{O}$ -N vahel

esines logaritmiline seos (Joonis 11).  $\text{N}_2\text{O}$  voogude paremaks hindamiseks võiks võimalusel kasutada automaاتمؤؤؤؤؤؤؤؤؤؤ. Pimekambritega mõؤؤؤؤüel tasuks arvestada, milline on parim aeg proovide võؤؤؤüeks ja kui tihti neid võؤؤa. Kehtnas toimus see päeval ajavahemikul 12:00-16:00, mis kirjandusest loetu põhjal võib põhjustada  $\text{N}_2\text{O}$  voogude ülehindamise. Šotimaal Edinburghis ja Brasiilias Seropedicas läbiviidud uuringus kasutati automaاتset  $\text{N}_2\text{O}$  voogude mõؤؤؤüse seadet ning saadud tulemuste põhjal tehtud regressioonianalüüsi alusel on  $\text{N}_2\text{O}$  proovide võؤؤؤüeks parim aeg hommikul (9:00-10:00) või õhtul (21:00-22:00), kuna sel ajal mõؤؤؤetud  $\text{N}_2\text{O}$  vood iseloomustasid kõige paremini ööpäeva keskmist  $\text{N}_2\text{O}$  lendumist (Alves et al. 2012). Sama leiti ka Austraalias Queenslandis, kus ööpäeva keskmist  $\text{N}_2\text{O}$  voogu iseloomustas kõige paremini, kui gaasiproovid võeti vahemikus 09:00-12:00 ja 21:00-00:00 (Reeves, Wang 2015).

$\text{N}_2\text{O}$  puhul on mõؤؤؤüste teostamine staatiliste pimekambritega pigem lihtne, kuivõrd selle ajaline ja ruumiline varieeruvus väikesel alal teeb ekstrapoleerimise suuremale alale eriti keeruliseks (Sangeetha et al. 2009). Kehtnas võeti  $\text{N}_2\text{O}$ -N proove kahelt 10 ha suuruselt põlluosalt, kus staatilised pimekambrid olid väga väikesel alal, mistõؤؤu ei iseloomustanud need ehk  $\text{N}_2\text{O}$ -N voogusid kogu põllu ulatuses eeldusel, et muld ei ole kõikjal homogeenne. Harris et al. (2013) aastatel 2010-2011 tehtud uuringus vahetas perioodiliselt kambrite asukohta, et vähendada nende mikrokliimaatilist mõju gaasivoogudele. Kambrite hajusam paigutamine Kehtnas polnud võimalik, kuna vahepeal toimus kündmine.



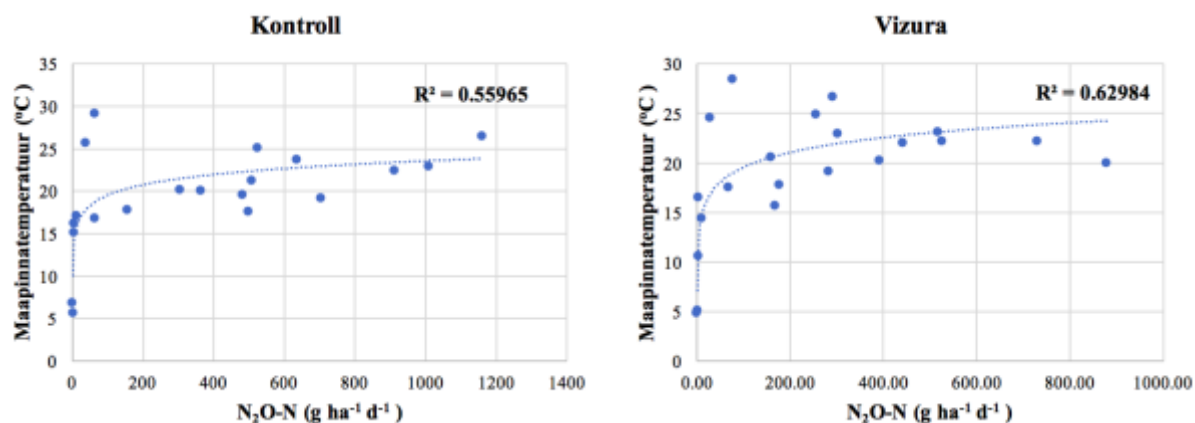
**Joonis 9.** Keskmised  $\text{N}_2\text{O-N}$  vood kontroll- ja katsepõllult mõõteperioodil august-oktoober 2016.



**Joonis 10.**  $\text{N}_2\text{O-N}$  varieeruvus ja statistilised näitajad (mediaanväärtused, 25- ja 75-protsentiilid, miinimum ja maksimum väärtused) kontroll- ja katsepõllu mullas mõõteperioodil august-oktoober 2016 (Mann Whitney U-test,  $p > 0,05$ ).

$\text{N}_2\text{O-N}$  vood kontroll- ja katsepõllult olid võrdlemisi sarnased. Maapinnatemperatuuri ja  $\text{N}_2\text{O-N}$  emissiooni korrelatsioonianalüüsi järgi on jooniselt (Joonis 11) näha, et need on mõõteperioodi jooksul omavahel logaritmilises seoses, kus temperatuuri tõustes suureneb ka  $\text{N}_2\text{O-N}$  lendumine atmosfääri. Kontrollpõllul on  $R^2 = 0,56$  ja katsepõllul  $R^2 = 0,63$ .

Mullaniiskuse ja  $\text{N}_2\text{O}$ -N voo ning mulla elektrijuhtivuse ja  $\text{N}_2\text{O}$ -N voo vahel korrelatsioonianalüüsil olulist seost ei leitud. Samuti puudus korrelatsioon teiste mulla ja mullavee keemiliste ning keskkonnaparameetrite vahel.



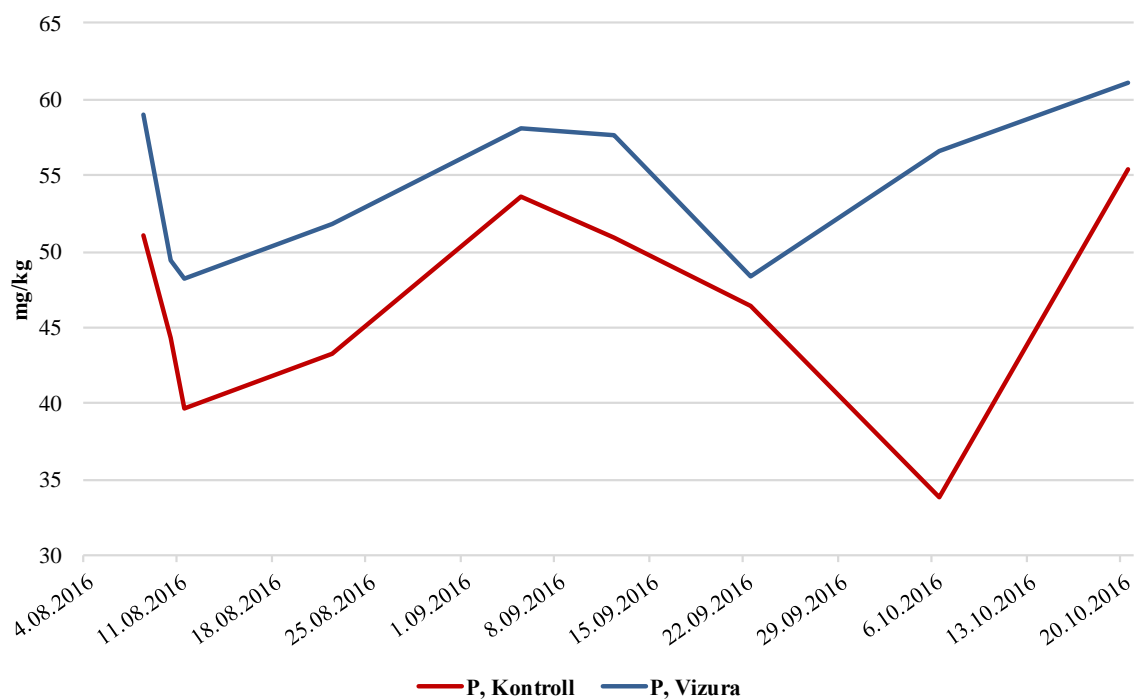
**Joonis 11.**  $\text{N}_2\text{O}$ -N lendumise sõltuvus maapinnatemperatuurist kontroll- ja katsepõllul mõõteperioodil august-oktoober 2016.

### 3.4. Fosfori leostumine

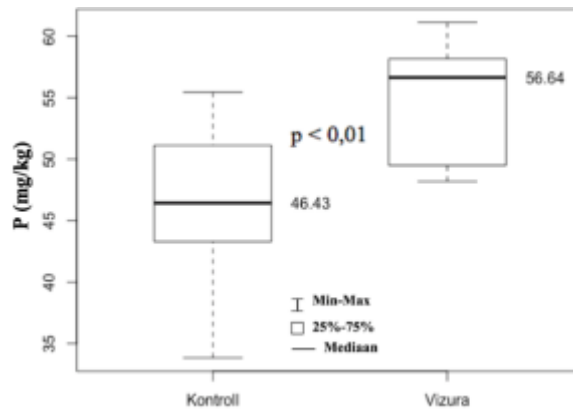
Joonistelt (Joonis 12, Joonis 13) on näha, et fosfori sisaldus katsepõllu mullas oli kogu mõõteperioodi vältel kõrgem kui kontrollpõllul. Keskmise fosfori sisaldus oli kontrollpõllul 45,88 mg/kg ja katsepõllul 55,20 mg/kg. Mann Whitney U-testiga tõestati fosfori kontsentratsioonide statistiliselt oluline erinevus kontroll- ja katsepõllul ( $p < 0,01$ ). Jooniselt (Joonis 12) on näha, et kontrollpõllu ja katsepõllu fosfori sisaldus mõõteperioodi jooksul kõigub. Peale vedelsõnniku lisamist kontsentratsioon langeb, seejärel kasvab mõlemal põllul küllaltki ühtlaselt ja hakkab siis taaskord langema. Kontrollpõllul on langus aeglasem kui katsepõllul. Suurem fosfori sisaldus katsepõllul võib olla tingitud sellest, et Vizura komponendiks on 40% ulatuses fosfor- ja ortofosforhapped, mis võisid suurendada fosfori sisaldust mullas (BASF 2016).

Spearmani astakorrelatsiooni analüüs näitas  $\text{N}_2\text{O}$ -N voogude ja mulla fosfori kontsentratsiooni omavahelist statistiliselt olulist seost ( $p < 0,05$ ), kus suurema fosfori sisalduse juures mullas olid suuremad ka  $\text{N}_2\text{O}$ -N vood, kontrollpõllul oli  $R = 0,91$  ja katsepõllul  $R = 0,84$ . Fosfori mõju  $\text{N}_2\text{O}$  voogudele on täiesti reaalne, kuid seda on uuritud väga vähe. Enamus uuringuid keskenduvad lämmastiku rollile  $\text{N}_2\text{O}$  lendumisel, kuid vähe on uuritud, kuidas võib

fosfor taimede ja mullas olevate mikroobidega koos  $N_2O$  lendumist mõjutada. Samas leidis Mori et al. (2010) oma uuringus, et peale fosfori viimist mulda 0,5 ja 1 päev hiljem, nii 75% kui ka 100% veega täidetud pooriruumi korral, suurenes  $N_2O$  voog oluliselt. Mõlema veega täidetud pooriruumi korral kumulatiivne  $N_2O$  lendumine tõusis märgatavalt 30-päeva jooksul. 75% juures suurendas fosfori lisamine nii nitrifikatsiooni kui ka denitrifikatsiooni, 100% juures suurenes ainult denitrifikatsioon. Fosfori mõju võis  $N_2O$  lendumise suurendamisele olla seetõttu, et hapniku kontsentratsioon oli madal ning denitrifikatsioon oli eelistatum protsess kui lämmastiku immobilisatsioon. Ka White, Reddy (1999) leidsid, et fosfori lisamine suurendas mikroobide biomassi ning denitrifikatsiooni aktiivsust mullas, samas fosfori lisamine suurendas mulla mikroobide massi märgatavalt ainult niisketes tingimustes. Seetõttu võis ka Kehtnas kõrgem fosfori sisaldus katsepõllul meie uuringu puhul lisaks vihmale olla üks tegur, mistõttu me ei näinud märgatavamalt väiksemaid  $N_2O$  voogusid katsepõllult.



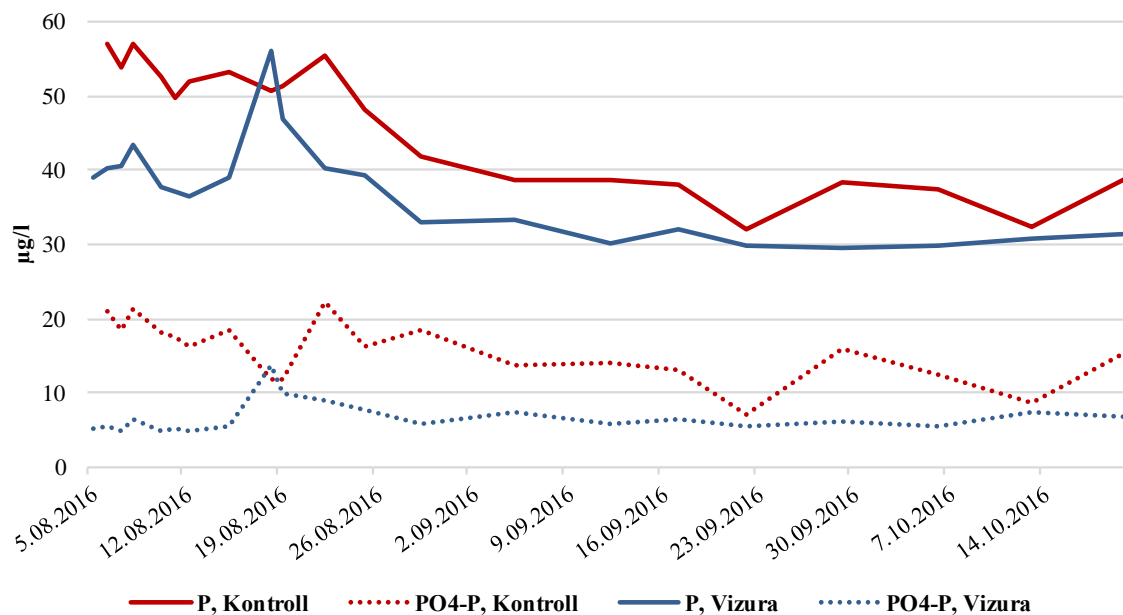
**Joonis 12.** Fosfori sisaldus kontroll- ja katsepõllu mullas mõõteperioodil august-oktoober 2016.



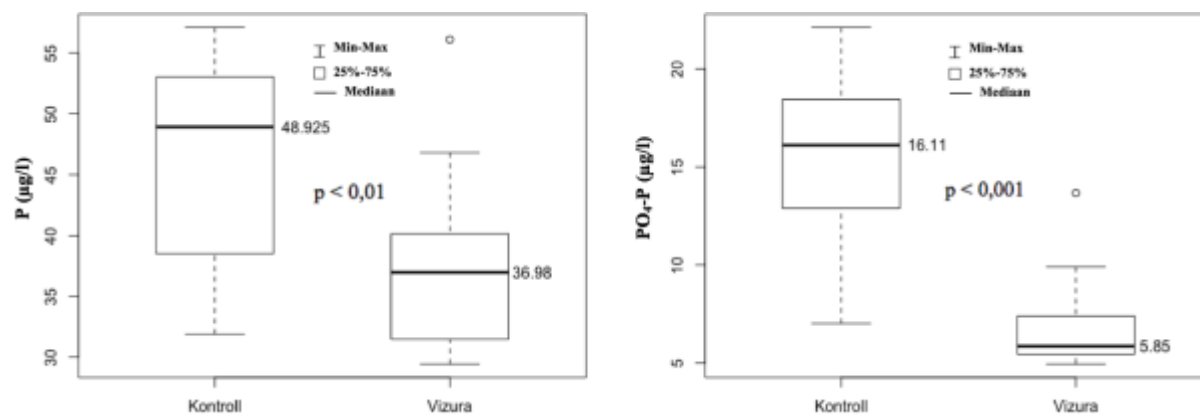
**Joonis 13.** Fosfori varieeruvus ja statistilised näitajad (mediaanväärtused, 25- ja 75-protsentiilid, miinimum ja maksimum väärtused) kontroll- ja katsepõllu mullas mõõteperioodil august-oktoober 2016 (Mann Whitney U-test,  $p < 0,01$ ).

Keskmsed fosfori kontsentratsioonid olid mulla drenaaživees kontrollpõllul  $8,92 \mu\text{g/l}$  võrra suuremad kui katsepõllul, fosfori sisaldused olid vastavalt  $45,86 \mu\text{g/l}$  ja  $36,94 \mu\text{g/l}$ . Kontroll- ja katsepõllu keskmised fosfori kontsentratsioonid mulla drenaaživees varieerusid ka Mann Whitney U-testi järgi üksteisest statistiliselt oluliselt ( $p < 0,01$ ). Kontrollpõllul oli keskmine  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  sisaldus  $8,95 \mu\text{g/l}$  suurem kui katsepõllul, vastavad kontsentratsioonid olid  $15,63 \mu\text{g/l}$  ja  $6,68 \mu\text{g/l}$ . Mann Whitney U-testi järgi erinesid ka põldude drenaaživee keskmised  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  kontsentratsioonid üksteisest oluliselt ( $p < 0,001$ ). Fosfor ja  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  ei leostu kõrgetes kontsentratsioonides, kuna nende lahustuvus mullas on madal ning taimed saavad neid mullast kätte ainult lahusefaasis. Taimedele omastatav fosfor on anorgaanilise ortofosfaadi vormis (Rehm et al. 2009).

Kogu mõõteperioodi vältel olid fosfori ja  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  kontsentratsioonid drenaaživees kontrollpõllul kõrgemad (Joonis 14, Joonis 15), kuid jooniselt (Joonis 14) on näha, et peale intensiivset vihmaperioodi (14-16. august) olid need 18. augustil võetud veeproovis katsepõllul kõrgemad ja kontrollpõllul madalamad. Hetkeliste katsepõllu mullavee kõrgemate fosfori ja  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  sisalduste põhjuseks on tõenäoliselt pikk vihmaperiood.



**Joonis 14.** Keskmine fosfori ja  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  sisaldus kontroll- ja katsepõllu mulla drenaaživees mõõteperioodil august-oktoober 2016.



**Joonis 15.** Fosfori ja  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  varieeruvus ja statistilised näitajad (mediaanväärtused, 25- ja 75-protsentiilid, miinimum ja maksimum väärtused) kontroll- ja katsepõllu mulla drenaaživees mõõteperioodil august-oktoober 2016 (Mann Whitney U-test,  $p > 0,01$  (fosfor) ja  $p > 0,001$  ( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )).

## 4. Järeldused

Kehtnas toimunud uuringu puhul lämmastikinhibiitori statistiliselt olulist mõju  $\text{N}_2\text{O}$ -N lendumisele ja leostumisel põllumajandusmaal ei leitud, mille põhjuseks võib olla mitmeid aspekte, mida ei osatud varem arvestada.

Kuna vahetult enne talirapsi külvamist ja väetamist pigem andmerida puudub, siis puudub ka teadmine, kui palju lämmastikku algselt mullas võis olla, kui suured olid algsed  $\text{N}_2\text{O}$ -N vood, millises vormis oli lämmastik ning millises kontsentratsioonis olid toitained mullas ning kui suur oli toitainete leostumine mulla drenaaživeega. Seetõttu ei ole võimalik võrrelda toitainete leostumist ja lendumist enne ja pärast väetamist, eriti just  $\text{N}_2\text{O}$  lendumist, kuna see sõltub ka eelnevast mullas olevast  $\text{NO}_3^-$ -st. DMPP on potentsiaalselt võimeline  $\text{N}_2\text{O}$  voogusid vähendama juhul, kui mulla  $\text{NO}_3^-$  sisaldus on madal (Duan et al. 2017). Lisaks oleneb DMPP efektiivsus mullas selle liiva sisaldusest, prootonite kontsentratsioonist, mulla mikrobioloogilistest parameetritest (katalüüsi aktiivsus, potentsiaalne nitrifikatsiooni võime ( $R^2=0,70$ )) (Sangeetha et al. 2009), kuid neid Kehtnas ei analüüsitud.

Lämmastikinhibiitorid on suuresti mõjutatud kliimast ja mulla omadustest (Misselbrook et al. 2014, Yang et al. 2016). Tõenäoliselt mõjutas uuringutulemusi kohe peale väetamist esinenud suur vihm, kus viis päeva peale väetamist ja külvamist sadas Kuusiku meteoroloogiajaama andmete järgi kümne päeva ööpäeva keskmisena 9,22 mm. Seetõttu võis suur vihma hulk Vizura mullas sügavamale kanda ning mullapooride täitumisel veega tekkis anaeroobne keskkond ja nitrifikatsiooni asemel intensiivistus denitrifikatsioon (Abalos et al. 2017).

Vizura efektiivsuse hindamise puhul peaks arvestama, et katse viidi läbi looduslikus keskkonnas mitte laboritingimustes, kuna esimese puhul on toitainete ringet mõjutavad parameetrid väga varieeruvad. Mulla keemilist koostist ja füüsikalisi omadusi ning teisi keskkonnaparametreid (sademed, õhutemperatuur) tuleb vaadelda samaaegselt, et selgitada DMPP mõju nitrifikatsiooni inhibeerimisele (Zerulla et al. 2001). Laboris on neid tingimusi võimalik kergemini kontrollida kogu katseperioodi vältel.

Vizura efektiivsuse maksimaalseks ajaks on määratud 15 nädalat kui maapinnatemperatuur on  $5^\circ\text{C}$  (BASF 2016, Bernsdtrup 2016). Meie katse puhul hinnati Vizura efektiivsust 11-nädala jooksul ning sel perioodil Kuusiku meteoroloogiajaamas mõõdetud maapinna keskmine temperatuur oli  $13^\circ\text{C}$ . Uuringutulemused kinnitasid, et  $\text{N}_2\text{O}$ -N lendumine on õhu- ja



maapinnatemperatuuri poolt mõjutatav, mida näitab ka joonis 11, kus on näha, et maapinnatemperatuur ja  $\text{N}_2\text{O}$ -N vood on omavahel logaritmilises seoses.

DMPP on alles üsna uus nitrifikatsiooni inhibiitor, mistõttu on oluline viia läbi uuringuid mõistmaks selle inhibeerimis mehhanismi, et optimeerida koguseid ja seeläbi suurendada efektiivsust põllul (Ruser, Schulz 2015). Tulevikus tasub veel uurida:

- Mikrobioloogilist kooslust, et vaadelda, kas kontroll- ja katsepõllu vahel on erinevaid mikroobikoosluseid.
- Vizura lämmastiku inhibeerimismehhanismi.
- Milline oli Vizura mõju teistele kultuuridele. Osa uuringuid näitab, et näiteks talirapsile on lämmastikuinhibiitori kasutamine väga efektiivne, kuna suurendab juurte kasvu, seeläbi toimub parem fosfori ja mikrotoitainete omastamine, biomassi ja saagikust.
- Milline on Vizura mõju teistel aastaaegadel.

## Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli: 1) mõõta  $\text{N}_2\text{O}$  voogusid põllumajandus maastikult; 2) analüüsida  $\text{N}_2\text{O}$  lendumise seoseid keskkonnaparameetritega; 3) analüüsida lämmastikinhibiitori (Vizura) mõju toitainete leostumisele ja  $\text{N}_2\text{O}$  lendumisele vedelsõnnikuga väetatud põllumajandusmaal. Töös võrreldi Kehtnas asuvat põldu, mis oli jagatud kontroll- ja katsepõlluosaks. Nii kontroll- kui ka katsepõllult mõõdeti  $\text{N}_2\text{O}$  voogusid,  $\text{NO}_3^-$ -i ja  $\text{NH}_4^+$ -i kontsentratsiooni mullas ja mulla drenaaživees. Kuna toitainete omastamine mullast on omavahel seotud, siis uuriti lisaks fosfori ja  $\text{PO}_4^{3-}$  sisaldust mullas ja mullavees.

Töö tulemused võimaldavad anda esialgse hinnangu: 1) vedelsõnniku laotamise mõjust  $\text{N}_2\text{O}$  voogudele; 2)  $\text{N}_2\text{O}$  lendumise seostele keskkonnaparameetritega; 3) lämmastikinhibiitori (Vizura) mõju leostumisele ja  $\text{N}_2\text{O}$  lendumisele põllumajandusmaal, mida Eestis ei ole varem uuritud.

Maailma rahvaarvu kasvuga suureneb ka toiduvajadus, mistõttu on vaja tõsta mullaviljakust, et taime biomassi produktsioon suurem oleks. Seetõttu on intensiivistunud põllumajandusega kasvanud ka lämmastik- ja fosforväetiste kasutamine. Need põhjustavad suurenenud toitainete voogusid põllumajandusmaalt, mis väljenduvad põllumajanduslikku hajureostuse ja KHG-de kontsentratsiooni tõusuga atmosfääris. Negatiivsete keskkonnamõjude vähendamiseks ja lämmastikväetiste efektiivsuse suurendamiseks on kasutusele väetud lämmastikinhibiitorid. Need on ühendid, mis võimaldavad mullas peatada nitrifitseerijate bakterite elutegevuse teatud ajani ning seeläbi lükata edasi  $\text{NH}_4^+$  muundumist  $\text{NO}_3^-$ -ks. Lämmastik on taimedele tegelikult kättesaadav nii  $\text{NO}_3^-$  kui ka  $\text{NH}_4^+$  vormis, kuid esimene on seotud rohkem veega ning ärakanne mullast toimub oluliselt kiiremini, kui  $\text{NH}_4^+$  puhul, mis on seotud rohkem mullaosakestega.

Bakalaureusetöö käigus saadud tulemuste põhjal saab öelda, et pärast vedelsõnnikuga väetamist suurenes  $\text{N}_2\text{O}$ -N lendumine.  $\text{N}_2\text{O}$ -N lendumine korreleerus logaritmiliselt hästi ka maapinnatemperatuuriga, teiste keskkonnaparameetritega tugevat korrelatsiooni ei leitud. Statistiliselt oluline mõju lämmastikinhibiitoril (Vizura) lämmastiku lendumisele ja leostumisele põllumajandusmaal puudus, eeldatavasti sademete rohke perioodi tõttu vahetult peale sõnniku laotamist. Küll aga olid mullavees ja mullas  $\text{NO}_3^-$ -N keskmised kontsentratsioonid katsepõllul madalamad kui kontrollpõllul. Viimase puhul on näha, et

katsepõllul oli  $\text{NO}_3^-$ -N sisaldus väiksem ning kontsentratsioon tõusis aeglasemalt kui kontrollpõllul. Märgatavat erinevust  $\text{NH}_4^+$ -N sisalduses mullas ja mulla drenaažvees ei täheldatud. Statistiliselt oluline mõju oli ainult fosfori ja  $\text{PO}_4^{3-}$ -P sisaldusele mullavees ja mullas, ning mulla fosfori sisalduse ja  $\text{N}_2\text{O}$ -N lendumise vahel, kus suurema fosfori sisalduse korral olid suuremad ka  $\text{N}_2\text{O}$ -N vood.

Vizura efektiivsuse mõju lõppes tõenäoliselt intensiivse vihmaperioodiga, mis esines augusti keskel, mistõttu pole uuringus kasutatud lämmastikuinhibiitor Eesti kliimas ehk nii kasulik kui Lõuna-Euroopas, kuna siin on rohkem sademeid, mulla poorid täituvad veega, keskkond muutub anaeroobseks ja nitrifikatsiooni asemel muutub peamiseks protsessiks denitrifikatsioon.

Kuid tõepärasemaks Vizura mõju hindamiseks Eestis, tuleks läbi viia edaspidine täpsem uuring, kus analüüsitakse mulla keemilisi ja füüsikalisi parameetreid pikemalt ka enne vedelsõnniku ja lämmastikuinhibiitori mulda viimist ning võetakse võimalusel gaasi, mulla ja mullavee proove tihedamini.

## **Effect of Nitrogen Inhibitors to Nitrogen Fluxes and Leaching in Agricultural Land**

The population has increased exponentially over the last hundred years and has thereby increased need for more food. This in turn has significantly boosted the usage of plant protection products and nitrogen and phosphorous fertilizers in agricultural land, causing negative impact for nature via nutrient leaching and volatilization. Since the late 20<sup>th</sup> century, when agriculture management started to intensify, nutrient runoff from agricultural land has increased and causes agricultural diffuse pollution and N<sub>2</sub>O fluxes. To reduce these negative impacts for the environment, nitrogen inhibitors have been introduced to make nitrogen use more efficient. These compounds are capable of inhibiting nitrifying bacteria in the soil and thereby delaying the conversion of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> to NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Nitrogen is available to plants in both forms, but NO<sub>3</sub><sup>-</sup> is more associated with water. Runoff from soil occurs significantly faster in the latter than with NH<sub>4</sub><sup>+</sup> which is more related to soil particles. Study for nitrogen inhibitor's (Vizura) effect on nitrogen fluxes and leaching was carried out in Estonia for the first time.

The aim of this study was: 1) to measure the flow of N<sub>2</sub>O fluxes in agricultural land; 2) to analyze the connections between N<sub>2</sub>O and environmental parameters; 3) to analyze the effect of nitrogen inhibitor (Vizura) to nitrogen volatilization and N<sub>2</sub>O fluxes in agricultural land. The study was carried out on the winter rape oilseed field in Kehtna and was divided into control (only slurry) and experimental site (slurry + Vizura). The level of N<sub>2</sub>O fluxes, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentrations were both measured in the soil and drainage water from both sites. The level of phosphorus and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> were also measured in the soil and drainage water for phosphorus uptake by plants is very closely related with the nitrogen uptake.

Vizura application to soil was followed relatively intense rainfall, therefore based on our data analysis we came to conclusion that Vizura had no statistically significant effect on nitrogen fluxes and leaching in a rainy period. However, the mean NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N concentrations in control site soil and drainage water were higher than in the experimental field. Statistically significant correlation was found between phosphorus and N<sub>2</sub>O-N fluxes; with higher phosphorus concentrations, there were higher N<sub>2</sub>O-N fluxes in soil. We also found logarithmical correlation between N<sub>2</sub>O-N fluxes and soil temperature.

Vizura effect was probably terminated by intensive rainfall in the middle of August. This in turn made the soil anaerobic by filling the pores with water and replaced nitrification with denitrification as the main process. To better assess Vizura's effect next study should also analyze the chemical and physical parameters before introducing slurry and nitrogen inhibitor to the soil. Taking gas, soil and soil drainage water samples should be considered to be taken more frequently.

## **Tänuavaldused**

Avaldan tänu oma juhendajatele Kaido Soosaarele ja Kuno Kasakule abi eest bakalaureusetöö valmimisel, kes olid alati valmis küsimustele vastama ja nõustama. Soovin tänada ka Maaülikooli doktoranti Jordi Escuer Gatiust, kellega sujus koostöö väga hästi.

Lisaks avaldan tänu BASF Crop Protection Eesti müügijuhile Margus Savistele ja agronoomile Alo Põldmaale, kes jagasid informatsiooni Vizura kohta ning Keskkonnaagentuuri Üldosakonna Klienditeeninduse peaspetsialistile Ivo Saaremäele Kuusiku meteoroloogiliste andmete välja otsimise ja saatmise eest.

Lämmastikinhibiitori mõju uuringut lämmastiku lendumisele ja leostumisele põllumajandusmaal toetati Green Agri projekti ja IUT2-16 projekti poolt.

## Kasutatud kirjandus

- Abalos, D., A. Sanz-Cobena, G. Andreu, ja A. Vallejo. 2017. „Rainfall amount and distribution regulate DMPP effects on nitrous oxide emissions under semiarid Mediterranean conditions.“ *Agriculture, Ecosystems & Environment* 238: 36-45.
- AgroNews. 2016. *Technical summary of Global enhanced efficient nitrogen fertilizers*. 26. oktoober. Kasutatud 8. mai 2017. a. <http://news.agropages.com/News/NewsDetail---19821.htm>.
- Alves, B. J. R., K. A. Smith, R. A. Flores, A. S. Cardoso, W. R. D. Oliviera, C. P. Jantalia, S. Urquiaga, ja R. M. Boddey. 2012. „Selecion of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N<sub>2</sub>O flux from soils.“ *Soil Biology & Biochemistry* 129-135.
- Anderson, D. M., P. M. Glibert, ja J. M. Burkholder. 2002. „Harmful Algal Blooms and Eutrophication: Nutrient Sources, Composition, and Consequences.“ *Estuaries* 25: 704-729.
- AS Maves, Keskkonnaministeerium. 2006. „Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundlik ala.“ 25.
- BASF. 2016. *Vizura - lämmastikustabilisaator vedelsõnnikule*. Kasutatud 13. mai 2017. a. [www.basf.agro.ee](http://www.basf.agro.ee).
- Bernsdtrup, I. 2016. „Danish legislation and challenges. Use of N-inhibitors. Best practice.“
- Blasing, T. J. 2016. *Carbon Dioxide Information Analysis Center*. aprill. Kasutatud 6. mai 2017. a. [http://cdiac.ornl.gov/pns/current\\_ghg.html](http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html).
- Buchkina, N. P., E. Y. Rizhiya, S. V. Pavlik, ja E. V. Balashov. 2013. *Soil physical properties and nitrous oxide emission from agricultural soils*. InTech.
- Cameron, K. C., H. J. Di, ja J. L. Moir. 2013. „Nitrogen losses from the soil/plant system: a review.“ *Annl Appl Biol* 162: 145-173.
- Chiper, A-M. 2015. „Policies to reduce the Impact of Climate Changes on tje Agriculture and Environment - from Speech to Practice.“ *AgroLife Scientific Journal* 22-31.
- Di, H. J., ja K. C. Cameron. 2012. „How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazed pastures?“ *Soil Use and Management* (28): 54-61.

- Díez-López, J. A., P. Hernaiz-Algarra, M. Arauzo-Sanchez, ja I. Carrasco-Martín. 2008. „Effect of a nitrification inhibitor (DMPP) on nitrate leaching and maize yield during two growing seasons.“ *Spanish Journal of Agricultural Research* 6: 294-303.
- Duan, Y-F., X-W. Kong, A. Schramm, R. Labouriau, J. Eriksen, ja S. O. Petersen. 2017. „Microbial N transformations and N<sub>2</sub>O emission after simulated grassland cultivations: effects of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP).“ *Applied and Environmental Microbiology* 83: 17.
- Espenberg, S., R. Kuhi-Thalfeldt, V. Lahtvee, M. Jüssi, H. Moora, J. Laht, Ü. Mander, J-O. Salm, ja K. Parts. 2013. „Eesti võimalused liikumaks konkurentsivõimelisema madala süsinikuga majanduse suunas aastaks 2050.“ 173.
- Euroopa Komisjon. 2016. *Energialiit ja kliimameetmed: Euroopa üleminek vähese CO<sub>2</sub>-heitega majandusele*. Pressiteade, Euroopa Komisjon.
- Fangueiro, D., A. Fernandes, J. Coutinho, N. Moreira, ja H. Trindade. 2009. „Influence of two nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on annual ryegrass yield and soil mineral N dynamics after incorporation with cattle slurry.“ *Communications in SOIL SCIENCE AND PLANT ANALYSIS* 40: 3387-3398.
- FAO . 2015. *World fertilizer trends and outlook to 2018*. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 49.
- Florio, A., I. M. Clark, P. R. Hirsch, D. Jhurrea, ja A. Benedetti. 2014. „Effects of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on abundance and activity of ammonia oxidizers in soil.“ *Biology and Fertility of Soils*.
- Gu, G., ja W. J. Riley. 2010. „Combined effects of short term rainfall patterns and soil texture on soil nitrogen cycling - A modeling analysis.“ *Journal of Contaminant Hydrogeology* 141-154.
- Harris, R. H., S. J. Officer, P. A. Hill, R. D. Armstrong, K. M. Fogarty, R. P. Zollinger, A. J. Phelan, ja D. L. Partington. 2013. „Can nitrogen fertiliser and nitrification inhibitor management influence N<sub>2</sub>O losses from high rainfall cropping systems in South Eastern Australia?“ *Nutr Cycl Agroecosyst* 95: 269-285.
- IPCC. 2013. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPNI. 2014. *International Plant Nutrition Institute - nitrogen notes*. Kasutatud 22. märts 2017. a. <http://www.ipni.net/NitrogenNotes>.



- Kaar, K., K. Joa, M. Möls, H-L. Kupri, A. Tammik, K. Konsap, M. Nikopensius, V. Adermann, ja C-T. Türkson. 2016. „Greenhouse gas emissions in Estonia 1990-2014.“ *National Inventory Report* 13.
- Kahn, B. 2017. „Threshold for CO<sub>2</sub>.“ *Scientific American* 1-9.
- Kasak, K. 2016. *Greenhouse gas emissions and water treatment efficiency in subsurface flow filters using various substrates*. PhD Thesis, Tartu: University of Tartu Press.
- Kasak, K., K. Piirimäe, ja S. Vahtrus. 2016. *Veekaitsemeetmed põllumajanduses. Käsiraamat tootjale*. Tartu: Sa Eestimaa Looduse Fond.
- Keskkonnaministeerium. 2016. „Kliimapoliitika põhialused aastani 2050. Põllumajanduse valdkonna mõjude hindamine.“
- Knowles, R. 1982. „Denitrification.“ *Microbiological Reviews* 43-70.
- Kong, X., Y. Duan, A. Schramm, J. Eriksen, ja S. O. Petersen. 2016. „3,4 -Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) reduces activity of ammonia oxidizers without adverse effects on non-target soil microorganisms and functions.“ *Applied Soil Ecology* 67-75.
- Lamb, J. A., F. G. Fernandez, ja D. E. Kaiser. 2014. *Understanding nitrogen in soils*. University of Minnesota Extension.
- Ligi, T. 2015. *Bacterial community structure and its genetic potential for nitrogen removal in the soils and sediments of a created riverine wetland complex*. PhD Thesis, Tartu: University of Tartu Press, 82.
- Liu, R., H. Hayden, H. Suter, J. He, ja D. Chen. 2015. „The effect of nitrification inhibitors in reducing nitrification and the ammonia oxidiser population in three contrasting soils.“ *Journal of Soils and Sediments* 15 (5): 1113-1118.
- Lotman, A., ja K. Kasak. 2017. „Euroopa Liidu ühine põllumajanduspoliitika.“ *Akadeemia* (3): 444-464.
- Lu, C., ja H. Tian. 2017. „Global nitrogen and phosphorus fertilizer use for agriculture production in the past half century: shifted hot spots and nutrient imbalance.“ *Earth System Science Data* 181-192.
- Merino, P., S. Mene'ndez, M. Pinto, C. Gonzá'lez-Murua, ja J.M. Estavillo. 2006. „3,4-Dimethylpyrazole phosphate reduces nitrous oxide emissions from grassland after slurry application.“ *Soil Use and Management* 21: 53-57.
- Misselbrook, T. H., L. M. Cardenas, V. Camp, R. E. Thorman, J. R. Williams, A. J. Rollett, ja B. J. Chambers. 2014. „An assessment of nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emissions from UK agriculture.“ *Environmental Research Letters* 9.

- Mori, T., S. Ohta, S. Ishizuka, R. Konda, A. Wicaksono, J. Heriyanto, ja A. Hardjono. 2010. „Effects of phosphorus addition on N<sub>2</sub>O and NO emissions from soils of an Acacia mangium plantation.“ *Soil Science and Plant Nutrition* 56: 782-788.
- Nevison, C. 2000. *Indirect N<sub>2</sub>O emissions from agriculture*. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC.
- Pärn, J., G. Pinay, ja Ü. Mander. 2012. „Indicators of nutrients transport from agricultural catchments under temperate climate: A review.“ *Ecological Indicators* 22: 4-15.
- Pilegaard, K. 2013. „Processes regulating nitric oxide emissions from soils.“ *Phil Trans R Soc B* 368: 1-8.
- Portmann, R. W. , J. S. Daniel, ja A. R. Ravishankara. 2012. „Stratospheric ozone depletion due to nitrous oxide: influences of other gases.“ *Phil. Trans. R. Soc. B* 1256-1264.
- Reeves, S., ja W. Wang. 2015. „Optimum sampling time and frequency for measuring N<sub>2</sub>O emissions from a rain-fed cereal cropping system.“ *Science of the Total Environment* 530-531: 219-226.
- Rehm, G., M. Schmitt, J. Lamb, G. Randall, ja L. Busman. 2009. „The nature of phosphorus in soils.“ (Regents of the University of Minnesota).
- Rooma, L., P. Penu, M. Metsur, ja T. Valdmaa. 2007. *Hea põllumajandustava*. Tallinn: Põllumajandusministeerium.
- Roser, M., ja E. Ortiz-Ospina. 2017. *World population growth*. Kasutatud 17. mai 2017. a. <https://ourworldindata.org/world-population-growth>.
- Ruser, R., ja R. Schulz. 2015. „The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) release from agriculture soils - review.“ *J. Plant Nutr. Soil Sci* 178: 171-188.
- Sangeetha, M., R. Jayakumar, ja C. Bharathi. 2009. „Nitrous oxide emission from soils.“ *Agric. Rev.* 94-107.
- Severin, M., R. Fuss, R. Well, R. Hähndel, ja H. Van den Weghe. 2016. „Greenhouse gas emissions after application of digestate: short-term effects of nitrification inhibitor and application technique effects.“ *Archives of Agronomy and Soil Science* 62 (7): 1007-1020.
- Takaya, N., M. A. B. Catalan-Sakairi, Y. Sakaguchi, I. Kato, Z. Zhou, ja H. Shoun. 2003. „Aerobic denitrifying bacteria that produce low levels of nitrous oxide.“ *Applied and Environmental Microbiology* 3152-3157.
- Van Der Weerden, T.J., T.J. Clough, ja T.M. Styles. 2013. „Using near-continuous measurements of N<sub>2</sub>O emission from urine-affected soil to guide manual gas sampling regimes.“ *New Zealand Journal of Agricultural Research* 56: 60-76.

- White, J. R., ja K. R. Reddy. 1999. „Influence of nitrate and phosphorus loading on denitrifying enzyme activity in everglades wetland soils.“ *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1945-1954.
- Worldometer. 2017. *Worldometer*. Kasutatud 17. mai 2017. a.  
<http://www.worldometers.info/world-population/>.
- Yang, M., Y. Fang, D. Sun, ja Y. Shi. 2016. „Efficiency of two nitrification inhibitors (dicyandiamide and 3,4-dimethylpyrazole phosphate) on soil nitrogen transformations and plant productivity: a meta-analysis.“ *Scientific Reports*.
- Zerulla, W., T. Barth, J. Dressel, K. Erhardt, K. Horchler von Locquenghien, G. Pasda, M. Rädle, ja A. H. Wissmeier. 2001. „3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) - a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture.“ *Biology and Fertility of Soils* 34 (2): 79-84.

## Lisa Fotod välitöödelt



**Foto 1.** Staatileine pimekamber ja selle alus Kehtnas.



**Foto 2.** Staatiliste pimekambrite asetus kontrollpõllul Kehtnas.





**Foto 3.** Kuivenduskraav põllu lääneküljel.



**Foto 4.** Proovide kogumine Kehtnas (foto: Jordi Escuer Gatius)

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina Hanna Vahter (sünnikuupäev: 18. jaanuar 1995)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) end loodud teose “Lämmastikinhibiitorite mõju toitainete leostumisele ja lendumisele põllumajandusmaal”, mille juhendajad on Kuno Kasak ja Kaido Soosaar
  - 1.1.reprodutseerimiseks ja säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-i lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni,
  - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete katse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 22.05.2017